

**DISEÑO DEL MODELO ECONOMICO ENERGETICO PARA UN SISTEMA DE  
ALERTA TEMPRANA (MEESAT) PARA LOS ARROYOS DE BARRANQUILLA.**

---

**DISEÑO DEL MODELO ECONOMICO ENERGETICO PARA UN SISTEMA DE  
ALERTA TEMPRANA (MEESAT) PARA LOS ARROYOS DE BARRANQUILLA**

**LEYTER JOSE PEREZ FLOREZ.**

**JOSEPH STEVE HERNANDEZ MIRANDA.**

**UNIVERSIDAD DE LA COSTA CUC**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRICA**

**BARRANQUILLA**

**2014**

**DISEÑO DEL MODELO ECONOMICO ENERGETICO PARA UN SISTEMA DE  
ALERTA TEMPRANA (MEESAT) PARA LOS ARROYOS DE BARRANQUILLA.**

---

**DISEÑO DEL MODELO ECONOMICO ENERGETICO PARA UN SISTEMA DE  
ALERTA TEMPRANA (MEESAT) PARA LOS ARROYOS DE BARRANQUILLA**

**LEYTER JOSE PEREZ FLOREZ.**

**JOSEPH STEVE HERNANDEZ MIRANDA.**

**TRABAJO DE TESIS DE GRADO**

**DIRECTOR:**

**ING. JORGE IVÀN SILVA ORTEGA**

**UNIVERSIDAD DE LA COSTA CUC**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRICA**

**BARRANQUILLA**

**2015**

**PAGINA DE APROBACIÓN**

---

**Nota de Aprobación**

Tesis aprobada por:

Director:

---

Presidente del jurado:

---

Jurado:

---

Jurado:

---

Barranquilla 17 de Julio de 2015

Señores: Corporación Universidad de la Costa (CUC)  
Atención: Departamento Admisiones y registros y Biblioteca.  
Asunto: Recepción de proyecto de grado

El día 09 de Julio de 2015, los estudiantes Leyter Jose Perez Florez identificado con C.C. 1.140.843.691 de Barranquilla y Joseph Steve Hernández Miranda identificado con C.C. 1.140.859.225 de Barranquilla, hicieron entrega de los documentos y monografía de proyecto de grado junto con los anexos respectivos al programa de ingeniería eléctrica. A continuación se relaciona la información del proyecto de grado.

Título del proyecto: Diseño del modelo económico energético para un sistema de alerta temprana (MEESAT) para los arroyos de barranquilla

Decisión del jurado evaluador: Aprobado & meritorio

Calificación: 4.5

Tutor: Ing. Jorge Iván Silva Ortega Ms.C.

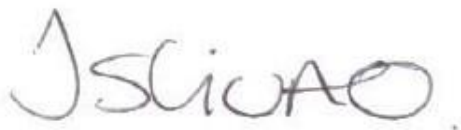
Cotutor: Ing. Hernan Hernandez Herrera Ph.D.

Jurados: Ing. Ronald Zamora Ms.C.

Ing. Michell Quintero Duran Ms.C.

Se otorga calificación de meritorio debido al nivel alcanzado en el trabajo y el compromiso del proyecto por la solución pertinente a problemas presentes en la región.

Atentamente,



Ing. Jorge Iván Silva Ortega Ms.C.  
Investigador Asociado grupo GIOPEN  
Programa de ingeniería eléctrica  
Docente Tiempo completo

## AGRADECIMIENTOS

Le agradecemos a Dios por haber puesto su mano misericordiosa sobre nosotros, para bendecirnos en abundancia y derramar sabiduría durante toda nuestro pregrado, especialmente en las dificultades, a Él la gloria y la honra en las victorias y en las derrotas por permitirnos culminar nuestra universidad de la mejor manera.

Le damos gracias a nuestros padres Nuriz Florez Y Nelson Pérez, Mónica Miranda y William Hernández por su respaldo en todo momento, sobre todo por inculcarnos valores que permitieron nuestra formación, para que hoy se recojan los frutos del trabajo, empeño y dedicación que sembraron en nuestra crianza, por su esfuerzo en obtener los recursos que nos permitieron tener una excelente educación y que se ven reflejados en la obtención de nuestro desarrollo profesional como ingenieros íntegros en conocimientos, valores y ética.

Les agradecemos a nuestros profesores que compartieron sus conocimientos y ética profesional con nosotros a lo largo de toda nuestra trayectoria universitaria, por impulsarnos a ser cada día mejores estudiantes capaces de desarrollar nuestro potencial humano y profesional, por su esmero en formarnos como ingenieros competitivos para poder emprender nuestro desarrollo profesional de una manera eficaz.

Le hacemos una mención especial a nuestro tutor de tesis, Ingeniero Jorge Iván Silva Ortega, por ser nuestro apoyo en el desarrollo de nuestro programa de pregrado, le agradecemos de ante mano por haber creído en nuestras capacidades, por otorgarnos las facilidades para desarrollarnos como estudiantes capaces de enfrentar la realidad de una vida profesional laboral y brindarnos la confianza de desarrollar la presente Tesis de Grado.

Les agradecemos a nuestros compañeros de clases, estandarte y apoyo para el desarrollo de nuestro programa de pregrado, compañeros de batallas y que junto con ellos logramos desarrollar infinitos conocimientos.

A todos y cada uno de los antes mencionados. Muchas gracias.

## RESUMEN

El propósito del presente documento, es realizar un modelo económico energético que identifique en una manera clara, concisa y detallada el consumo de cada elemento instalado en el sistema de alertas tempranas para la detección de los arroyos de barranquilla, suministrando alternativas viables para lograr la mayor eficiencia y sostenibilidad del mismo, dentro de estas alternativas encontramos el uso de fuentes renovables como principal suministro de energía, para lograr que este proyecto sea de total independencia de la red convencional de energía, de igual manera se realiza un estudio de factibilidad de suministro en tal caso que no sea posible abastecer la demanda requerida para el sistema de alertas tempranas mediante las fuentes renovables, de esta manera se introduce al proyecto un estudio de variables que se deben tener en cuenta la momento de implementar el suministro de energía mediante la red convencional de la empresa de Electricaribe S.A E.S.P.

Para el desarrollo del presente proyecto se analizaron aspectos tales como cultural, social, ambiental y económico, para poder determinar el impacto ocasionado sobre cada uno de ellos, se analizaron los distintos modelos energéticos implementados en el mundo y su impacto en los lugares que fueron implementados, brindando mediante esto una mayor visión al momento de definir el modelo apropiado para implementar en el sistema de alertas tempranas.

Partiendo de la necesidad que surge en la ciudad de barranquilla y considerando que es una problemática única en el mundo se hace casi que imposible establecer un modelo energético que coincida con todos los requerimientos de este, por tal razón y tomando como alternativa el estudio de los distintos modelos energéticos en el cual se incluyen modelos tales como: MARKAL, LEAP, BOTTON UP, entre otros, se llega a la determinación que el modelo más factible para la implementación al sistema de alertas tempranas debe ser un híbrido que incluya las características más importantes de cada uno de los modelos expuestos en el presente documento. Partiendo de esta determinación nace como alternativa el **MODELO ECONOMICO ENERGETICO PARA UN SISTEMAS DE ALERTAS TEMPRANAS –“MEESAT”**.

MEESAT es un modelo energético que no solo tiene en cuenta aspectos tales como los antes mencionados sino que también añade un análisis económico y un análisis de consumo, haciendo una proyección de la demanda en caso de que el sistema tienda a ampliarse y se deban agregar otros elementos, este modelo no deja de lado la seguridad que debe presentar el SAT al momento de puesta en

## DISEÑO DEL MODELO ECONOMICO ENERGETICO PARA UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA (MEESAT) PARA LOS ARROYOS DE BARRANQUILLA.

---

marcha de los equipos, como también hace un estudio de confiabilidad del sistema teniendo en cuenta aspectos como el mantenimiento, prioridad para el buen funcionamiento de los equipos, una de las principales características de este modelo es el estudio que realiza de cada dispositivo y elemento que integra el sistema de alertas, realizando una caracterización energética para poder llegar a una estimado de consumo y de esta manera establecer la demanda total del sistema.

MEESAT de igual manera integra el análisis de corrientes de cortocircuito, niveles de tensión, diagramas de conexión, cargabilidad de los puntos de conexión todo esto con el fin de poder determinar la factibilidad de conexión a la red convencional de energía en caso de no poder contar con el suficiente suministro de energía por parte de las fuentes renovables.

Este modelo integra todos los requerimientos necesarios y brinda las pautas para poder desarrollar un estudio confiable y seguro de consumo que garantice la sostenibilidad, eficiencia y buen funcionamiento eléctrico del SAT.

**Palabras claves:** Modelo energético, MEESAT, SAT, eficiencia, sostenibilidad, fuentes no convencionales de energía, fuentes renovables de energía, hibrido, demanda, mantenimiento, caracterización energética, sistema consumo energético.

### **ABSTRACT**

The purpose of this paper is to perform an energy economic model that identifies in a clear, concise and detailed manner the consumption of each component installed on the system for early detection of streams in Barranquilla alerts, providing viable alternatives for achieving greater efficiency and sustainability of itself, within these alternatives are the use of renewable sources as the main power supply, to ensure that this project is completely independent of the conventional power grid, just as a feasibility study is performed on supply this case is not possible to supply the demand required for the early warning system using renewable sources; in this way is introduced the project a study of variables that must be considered when implementing energy supply by the grid operator Electricaribe S.A. E.S.P.

For the development of this project aspects such as cultural, social, environmental and economic were analyzed to determine the caused on each impact, the various energy models implemented in the world and its impact on the places that were implemented were analyzed providing through this greater vision when defining the appropriate model to implement the early warning system.

Based on the need that arises in the city of Barranquilla and considering that it is a single problem in the world is almost impossible to establish an energy model that matches all the requirements for this, for that reason and taking alternatively studying various energy models which include models such as: MARKAL, LEAP, bottom up, among others, will come to the determination that the most feasible to implement the early warning system should be a hybrid model that includes the most important features of each of the models presented herein. Based on this determination born as an alternative economic model ENERGY FOR Early Warning Systems - "MEESAT".

MEESAT is an energy model that not only takes into account issues such as those mentioned above but it also adds an economic analysis and an analysis of consumption by projecting demand in case the system tends to expand and should add other elements, this model does not neglect safety due on SAT when commissioning of equipment, as does a study of reliability of the system taking into account issues such as maintenance, priority for the proper functioning of the equipment, one of the main features of this model is the study carried out for each device and component that integrates the alert system, performing an energy characterization to reach a consumption estimate and thus establish the total system demand.



## DISEÑO DEL MODELO ECONOMICO ENERGETICO PARA UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA (MEESAT) PARA LOS ARROYOS DE BARRANQUILLA.

---

MEESAT equally integrates the analysis of short-circuit currents, voltage levels, connection diagrams, chargeability connection points all this in order to determine the feasibility of connection to conventional power grid in case of not having with a sufficient supply of energy from renewable sources.

This model integrates all the requirements and provides guidelines to develop a reliable and safe consumer research to ensure sustainability, efficiency and good electrical performance of the SAT.

Keywords: Energy Model, MEESAT, SAT, efficiency, sustainability, non-conventional energy sources, renewable energy sources, hybrid, demand, maintenance, energy characterization, energy system.

## GLOSARIO

- **Ámbito de conexión:** Autorización entregada por Planificación para la conexión de una solicitud de carga o generación en un punto determinado de la red.[32]
- **Batería:** acumulador eléctrico. Dispositivo que almacena energía eléctrica usando procesos electroquímicos y permite devolverla luego para ser usada.[33]
- **BDI:** Base de datos de instalaciones.es un sistema que permite consultar y mantener la información gráfica y alfa numérica de las redes de distribución de la empresa de ELECTRICARIBE SA [32].
- **Caracterización energética:** es un proceso que tiene por objetivo encontrar las oportunidades para optimizar el consumo energético dentro de cualquier sistema consumidor de energía [34]
- **Carga:** consumo de potencia en un punto de una red; capacidad instalada que tiene un circuito os sistema eléctrico en un instante analizado. [32]
- **Cargabilidad:** Es la relación entre la demanda y la capacidad instalada que tiene un circuito o sistema eléctrico en un instante analizado.[32]
- **Confiabilidad:** término colectivo usado para describir la disponibilidad y los factores de influencia: fiabilidad, mantenibilidad y logística de mantenimiento. [35]
- **Corriente de cortocircuito:** Se denomina corriente cortocircuito al fallo en un aparato o línea eléctrica por el cual la corriente eléctrica pasa directamente del conductor activo o fase al neutro o tierra en sistemas monofásicos de corriente alterna, entre dos fases o igual al caso anterior para sistemas polifásicos [36]
- **CT:** centro de transformación o punto de apoyo de los equipos de red eléctrica, coloquialmente se les conoce como postes, el material de fabricación en la mayoría de los casos es de concreto. [32]

- **Demanda:** La demanda es la suma de las compras de bienes y servicios que realiza un cierto grupo social en un momento determinado.[37]
- **DIG SILENT:** es un simulador digital de redes eléctricas. El programa integra herramientas que permite realizar análisis de flujo de carga, estabilidad, protecciones, confiabilidad como las principales actividades del operador de red.[32]
- **Fuente renovable de energía:** Tipo de energía que puede obtenerse de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya que contienen una inmensa cantidad de energía o pueden regenerarse naturalmente. [38]
- **Generación:** Es la producción de energía eléctrica por cualquier medio.[32]
- **Macroeconomía:** es aquella parte de la Economía que se ocupa especialmente del análisis de las magnitudes económicas colectivas o globales, tales como la renta nacional, el empleo, la inflación y el producto bruto interior, entre otros.[39]
- **Mantenimiento:** conjunto de acciones que tienen como objetivo mantener un artículo o restaurarlo a un estado en el cual el mismo pueda desplegar la función requerida. [40]
- **Microeconomia:** Es una parte de la economía que estudia el comportamiento económico de agentes económicos individuales, como son los consumidores, las empresas, los trabajadores y los inversores; así como de los mercados.[41]
- **Modelo energético:** Es aquel modelo que asegure un crecimiento económico con fuentes energéticas seguras y de alto rendimiento y sea compatible con un medio ambiente limpio. [42]
- **Modelo hibrido:** Modelo conceptual que contiene una recopilación de distintas partes de otros modelos
- **Oferta:** Está constituida por el conjunto de bienes y servicios que se ofrecen en el mercado en un momento determinado y con un precio concreto.[43]
- **OPEN:** sistema de gestión comercial. [32]

- **Operador de red:** Es la entidad encargada de la planeación de la expansión y de las inversiones, operación y mantenimiento de todo o parte de un Sistema de Transmisión Regional o Sistema de Distribución Local; los activos pueden ser de su propiedad o de terceros. [44]
- **Potencia activa:** Es la potencia en que en el proceso de transformación de la energía eléctrica se aprovecha como trabajo, los diferentes dispositivos eléctricos existentes convierten la energía eléctrica en otras formas de energía tales como: mecánica, lumínica, térmica, química, etc. [45]
- **Potencia reactiva:** potencia disipada por las cargas reactivas (Bobinas o inductores y capacitores o condensadores). [46]
- **Punto de conexión:** Es el punto eléctrico determinado, en el cual se debe conectar el cliente una vez realizada la fase de factibilidad. El equipo del cliente se conecta a un Sistema De Transferencia Regional (STR) y/o Sistema de Distribución Local (SDL), con el propósito de transferir energía eléctrica entre las partes. EL punto de conexión se identifica en el diagrama unifilar de ELECTRICARIBE SA [32].
- **Red convencional de energía:** una red interconectada que tiene el propósito de suministrar electricidad desde los proveedores hasta los consumidores. [47]
- **Sistema de Alertas Temprana:** Es aquel dispositivo complejo que avisa con antelación de la eventualidad de un acontecimiento natural o humano que puede causar un desastre, con el objetivo de evitarlo. [48]
- **Sistema de distribución local (SDL):** Sistema de transporte de energía eléctrica compuesto por el conjunto de líneas y subestaciones, con sus equipos asociados, que operan a los Niveles de Tensión 3, 2 y 1 dedicados a la prestación del servicio en un Mercado de Comercialización.[32]
- **Sostenibilidad:** refiere a algo que está en condiciones de conservarse o reproducirse por sus propias características, sin necesidad de intervención o apoyo externo. [49]
- **Sistema:** es un conjunto de elementos relacionados entre sí y que funcionan como un todo. [50]

- **Subestación:** estación donde se transforma y/distribuye la energía eléctrica [32]
- **VHOR:** Visor Horario. Es un programa que lee las medidas de Tensión, Corriente, Potencia Activa, Potencia Reactiva, y Potencia Aparente, en formato SCADA y permite la visualización de estas medidas en períodos anuales, mensuales, semanales y diario. [32]

## INTRODUCCION

El siguiente trabajo tiene por objetivo el desarrollo de un modelo energético que permita conocer el consumo característico de los equipos, que serán implementados para un sistemas de alertas tempranas con el fin de mitigar la problemática presente en los arroyos de barranquilla, a partir de este proyecto, se desarrollaran parámetros claves que permitirán que el sistema de alertas tempranas (SAT) cumpla con los requerimientos fijados para garantizar la confiabilidad de la operación del sistema y su auto sostenimiento.

Se entiende por Sistema de Alertas Tempranas como el conjunto de capacidades necesarias para generar y difundir información de alerta que sea oportuna y significativa, con el fin de permitir que las personas, las comunidades que se encuentren bajo una inminente amenaza se preparen y actúen de forma apropiada, con el suficiente tiempo de anticipación para reducir la posibilidad de que se produzcan pérdidas o daños.<sup>1</sup>

Este trabajo pretende brindar un análisis detallado del consumo de cada componente que integra en el sistema de alertas temprana, entre ellos, el equipo de medidas instalado, el equipo de comunicaciones, el equipo encargado de procesar la información y a su vez todo el equipo visual encargado de dar a conocer o transmitir la señal de advertencia a su destino final. Básicamente este trabajo pretende analizar la viabilidad real de los modelos alternativos vigentes, desde una múltiple perspectiva técnica, social, ambiental y económica.

En el Capítulo I se presentan los aspectos generales del proyecto, se encuentran las características generales del proyecto, en donde se plantea la problemática general. El Capítulo II corresponde al Marco teórico, dentro de esta sección se amplía el concepto de un sistema de alertas tempranas, se profundiza en los diferentes tipos de modelos energéticos existentes en el mundo y sus principales características.

El Capítulo III presenta el Manual de Procedimientos. En este capítulo se aborda la metodología a emplear para el desarrollo del modelo energético. El Capítulo IV corresponde a los resultados, donde se describe el modelo energético propuesto para SAT y sus requerimientos. El CAPITULO V reúne las conclusiones del proyecto en donde se realiza una revisión de los objetivos alcanzados y se dan recomendaciones para futuros proyectos.

---

<sup>1</sup> Concepto extraído de: <http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/San-Jose/pdf/Costa%20Rica.pdf>

## TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	5
RESUMEN.....	6
ABSTRACT.....	8
GLOSARIO.....	10
INTRODUCCION.....	14
LISTA DE TABLAS.....	19
LISTA DE FIGURAS.....	20
CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES DEL PROYECTO.....	21
1.1    PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	21
1.2    OBJETIVOS.....	22
1.2.1    Objetivo general.....	22
1.2.2    Objetivos específicos.....	22
1.3    JUSTIFICACION DEL PROYECTO.....	23
CAPITULO II: MARCO TEORICO.....	26
2.1    Modelo Energético.....	26
2.1.1    Conceptos relacionados con la implementación de un modelo energético en un sistema de alertas tempranas.....	27
2.1.1.1    Energía eléctrica.....	27
2.1.1.2    Costos asumidos.....	28
2.1.1.3    Fallas técnicas.....	28
2.1.1.4    Contribuir con el medio ambiente.....	28
2.2    Indicadores energéticos.....	29
2.2.1    Cantidad de energía.....	29
2.2.2    Costo de energía.....	29
2.2.3    Seguridad de suministro.....	29
2.2.4    Impacto natural.....	30
2.2.5    Impacto social.....	30
2.2.6    Impacto tecnológico.....	30

## DISEÑO DEL MODELO ECONOMICO ENERGETICO PARA UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA (MEESAT) PARA LOS ARROYOS DE BARRANQUILLA.

---

2.2.7	Consecuencias.....	30
2.3	Ejemplos implementados de modelos económicos energéticos.....	31
2.3.1	Descripción del proyecto.....	32
2.3.1.1	Impacto del proyecto .....	32
2.4	Clasificación de modelos energéticos.....	35
2.4.1	Clasificación “bottom up” - “top down”.....	37
	El modelo Bottom up.....	37
	El modelo Top-Down.....	37
2.4.2	Clasificación basada en modelo de empaquetado.....	37
2.4.3	Clasificación basada en un modelo auxiliar .....	38
2.4.4	Clasificación basada en una cobertura geográfica.....	38
2.4.5	Clasificación basada en el tiempo .....	38
2.4.6	Modelos con mayor influencia en el mundo .....	39
2.4.6.1	Modelo LEAP:.....	39
2.4.6.2	Modelo MARKAL: .....	41
2.4.7	Modelos energéticos establecidos según el propósito o el objetivo a cumplir 43	
2.4.8	Cuadro comparativo de los principales modelos energéticos .....	44
2.4.9	Revisión de modelos energéticos implementados en el mundo.....	45
2.5	Generación distribuida.....	46
2.5.1.	Generación en Isla .....	46
2.5.2.	Generación para carga base .....	47
2.5.1	Beneficios de la generación distribuida .....	48
2.5.2	Desventajas de la Generación Distribuida .....	48
2.5.3	Instrumento Regulatorio de Medición Neta. ....	49
2.6	Elementos requeridos para un Sistema de Alerta Temprana SAT. ....	50
2.6.1	Elementos principales. ....	50
2.6.1.1	Conocimiento de los riesgos.....	50
2.6.1.2	Servicio de seguimiento y alerta.....	50
2.6.1.3	Difusión y Comunicación .....	51



# DISEÑO DEL MODELO ECONOMICO ENERGETICO PARA UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA (MEESAT) PARA LOS ARROYOS DE BARRANQUILLA.

---

2.6.1.4	Capacidad de respuesta.....	51
2.6.2	Implementos requeridos para un Sistema de Alerta Temprana. ....	51
2.7	Confiabilidad.....	52
2.7.1	Calculo del MTBF y el MTTR .....	54
2.7.2	Sistema en serie.....	54
2.7.3	Sistema en paralelo.....	55
2.8	Evaluación de la factibilidad del suministro de energía convencional / no convencional.....	56
2.9	Funcionamiento del panel solar .....	57
CAPITULO III. METODOLOGÍA .....		59
3.1	Criterios seleccionados para el diseño de MEESAT .....	60
3.1.1	Metodologías implementadas en MEESAT .....	60
3.2	Etapas del Desarrollo del Modelo .....	63
3.2.1	Etapa 1. Factibilidad del suministro de energía.....	63
3.2.2	Etapa 2. Análisis.....	63
3.2.3	Etapa 3. Caracterización energética .....	64
3.2.4	Etapa 4. Diseño del modelo .....	64
CAPITULO IV: RESULTADOS .....		65
4.1	Etapa 1. Factibilidad del suministro de energía .....	65
• Datos de cortocircuito de los distintos puntos de conexión por circuito de la red convencional de energía .....		69
4.1.1	Datos de S, P, Q de cada circuito asociado al punto de conexión .....	70
4.1.2	Estudio del perfil de tensión .....	71
4.1.3	Cargabilidad del circuito y de la subestación más cercana al punto de conexión .....	75
4.1.3.2	Datos para el cálculo de cargabilidad en el punto de conexión # 2	76
4.1.3.3	Datos para el cálculo de cargabilidad en el punto de conexión # 3	77
4.1.4	Estudio de descargas atmosféricas.....	79
4.1.4.1	Punto de conexión # 1 .....	79

# DISEÑO DEL MODELO ECONOMICO ENERGETICO PARA UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA (MEESAT) PARA LOS ARROYOS DE BARRANQUILLA.

---

4.1.4.2	Punto de conexión # 2 .....	79
4.1.4.3	Punto de conexión # 3 .....	80
4.1.5	Criterios a tener en cuenta de acuerdo a la implementación de Fuentes renovables de energía .....	80
4.2	Etapa 2. Análisis .....	84
4.2.1	Análisis de confiabilidad .....	84
4.2.2	Análisis de seguridad .....	87
4.3	Etapa 3. Caracterización energética .....	91
4.3.1	Definir las características de cada equipo, por ubicación y del sistema total 91	
4.3.2	Informe de consumo total del sistema .....	94
4.3.3	Proyección de la demanda en caso de agregar más elemento al sistema. ....	95
4.4	Etapa 4. Diseño del modelo .....	101
4.4.1	Diagrama de procesos .....	101
4.4.2	Diagrama de flujo .....	102
4.5	Limitaciones .....	104
4.6	Recomendaciones .....	105
CAPITULO V. CONCLUSIONES .....		106
BIBLIOGRAFÍA .....		108
ANEXOS .....		112

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Mini central solar para una comunidad rural de Senegal .....	31
Tabla 2. Entidades encargadas del desarrollo del proyecto .....	32
Tabla 3. Mini central solar fotovoltaica .....	33
Tabla 4. Resumen de enfoques de modelos .....	36
Tabla 5. Categorías del modelo energético. ....	43
Tabla 6. Principales modelos energéticos .....	44
Tabla 7. Punto de conexión # 1 .....	69
Tabla 8. Punto de conexión # 2 .....	69
Tabla 9. Punto de conexión # 3 .....	69
Tabla 10. Descripción de potencias punto de conexión # 1 .....	70
Tabla 11. Descripción de potencias punto de conexión # 2 .....	70
Tabla 12. Descripción de potencias punto de conexión # 3 .....	70
Tabla 13. Potencia nominal del circuito en el punto de conexión # 1 .....	75
Tabla 14. Valores obtenidos de cargabilidad punto de conexión #1. ....	76
Tabla 15. Potencia nominal del circuito en el punto de conexión # 2 .....	77
Tabla 16. Valores obtenidos de cargabilidad punto de conexión #2. ....	77
Tabla 17. Potencia nominal del circuito en el punto de conexión # 3 .....	76
Tabla 18. Valores obtenidos de cargabilidad punto de conexión #3. ....	78
Tabla 19. Potencia de la energía solar en Colombia, por regiones .....	80
Tabla 20. Características individuales por equipo .....	91
Tabla 21. Consumo energético por punto de ubicación .....	91
Tabla 22. Consumo energético total del sistema. ....	92
Tabla 23. Consumo energético por punto de ubicación #2. ....	93
Tabla 24. Consumo energético total del sistema #2. ....	93
Tabla 25. Consumo energético total de arroyos estudiados. ....	100
Tabla 26. Cantidad de peso límite para colocación de equipos en poste. ....	104

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema general del proceso de cálculo realizado por el LEAP.	40
Figura 2. Esquema de flujo energético del modelo MARKAL.	42
Figura 3. Sistema centralizado vs Generación distribuida	46
Figura 4. Generación en Isla	47
Figura 5. Generación para carga base	47
Figura 6. Cuatro elementos principales de los SAT centrados en la población	51
Figura 7. Pluviómetro digital con sensor integrado.	52
Figura 8. Escala Hidrométrica.	52
Figura 9. Estructuración de criterios para selección de modelo híbrido.	62
Figura 10. Punto de conexión #1.	66
Figura 11. Punto de conexión #2.	67
Figura 12. Punto de conexión #3.	68
Figura 13. Nivel de tensión punto de ubicación #1	72
Figura 14. Nivel de tensión punto de ubicación #2	73
Figura 15. Nivel de tensión punto de ubicación #3	74
Figura 16. Formato de confiabilidad.	86
Figura 17. Formato de seguridad.	90
Figura 18. Consumo Energético Arroyo carrera 65.	95
Figura 19. Consumo Energético Arroyo Carrera 21 - Rebolo.	96
Figura 20. Consumo Energético Arroyo Calle 84.	97
Figura 21. Consumo Energético Arroyo Country calle 76.	98
Figura 22. Consumo Energético Arroyo Don Juan.	99
Figura 23. Diagrama de procesos MEESAT.	101
Figura 24. Diagrama de flujos MEESAT.	103

## CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES DEL PROYECTO

### 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Universidad de la Costa, CUC, se encuentra trabajando en un proyecto de investigación apoyado por Colciencias para desarrollar un sistema de alertas tempranas para la detección de altos niveles de peligrosidad de un arroyo de barranquilla. Se proyecta un piloto con la localización de tres sensores a lo largo de su cauce con el objetivo de estimar el comportamiento de las aguas durante la época de invierno dado que la ciudad de barranquilla no cuenta con sistemas de alcantarillado subterráneo que lleven las aguas de lluvia hasta las vertientes que alimentan al Rio Magdalena.

El plan de desarrollo de la alcaldía distrital de barranquilla, dedica un artículo de manera especial para buscar la solución a esta problemática, abriendo paso al programa “solución escalonada para los arroyos”, el cual se encuentra en el artículo 18, sección 3, del plan de desarrollo, este programa describe la realización de un proyecto para canalizar los arroyos con un pronóstico de trabajo de aproximadamente 20 años. Solucionar esta problemática implica una alta inversión de los recursos públicos y un retroceso en el desarrollo evolutivo de la ciudad, ya que en temporada invernal, las actividades económicas, comerciales, entre otras se ven afectadas por este fenómeno y de esta manera produce una reducción de la competitividad de la ciudad y de la región [19].

El foco gris de este proyecto se debe al largo plazo trazado para su implementación total, además de la alta inversión de los recursos de la ciudad, No obstante en la actualidad y mientras se implementa el proyecto se deben preservar las vidas humanas y reducir las pérdidas materiales dado que atenta contra la economía y el buen desarrollo de la ciudad. Es por esta razón que se está trabajando en el sistema de alertas temprana para la detección de caudales y avisar con anticipación a la ciudadanía para evitar estos afluentes que se generan durante los momentos de lluvia en la ciudad. No obstante este sistema requiere de un sostenimiento económico y energético para garantizar su operación y su auto sostenimiento en aras de que continúe su crecimiento y se logre implementar en todos los lugares donde se presente un arroyo en la ciudad, por tal razón surge la siguiente pregunta problema: ¿existe un modelo de consumo energético que permita saber exactamente cuánto se consume en un tiempo determinado los dispositivos implementados en un sistema de alerta temprana?

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo general**

Generar un modelo de consumo de energía eléctrica para el sistema de alertas tempranas que permita abastecer o apoyar energéticamente a cada punto o estación que sea definida, estimando el tipo de energía que va a ser utilizada (Energía Convencional o Energía Renovable).

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Definir el consumo energético de cada equipo para estimar el consumo de cada punto o ubicación.
- Valorar cada punto de ubicación de los equipos en referencia a la facilidad del suministro de energía para energizarlo.
- Diseñar el modelo energético que simule el consumo de los diferentes equipos en cada punto haciendo variaciones de acuerdo con los equipos que sean utilizados teniendo en cuenta diferentes escenarios de precipitación en la ciudad.

### 1.3 JUSTIFICACION DEL PROYECTO

La problemática actual de los arroyos de barranquilla ha existido desde siempre, vinculándose con el desarrollo urbanístico de la región y alterando factores como sociales, económicos, políticos y culturales, de acuerdo con recopilaciones históricas, se da por establecido que para el nacimiento de la ciudad, está ya contaba con arroyos peligrosos y poderosos, que recorrían por todo el noroeste de la ciudad y que desembocaban en una ciénaga espaciosa que comunicaba con el río magdalena. Esta situación en aquella época no presentaba ningún problema grave, ya que el recorrido principal de los afluentes eran desgastados mediante un procedo de infiltración debido a que las calles y avenidas no habían entrado en un proceso de pavimentación, por tal manera esta situación repercutía en la disminución del caudal y su turbulencia. Pero a medida que la ciudad progresaba y avanzaba la expansión urbana empezaron a surgir los primeros inconvenientes para la movilidad, estos arroyos se habían convertido en un impedimento para trasladase de un lugar a otro, y es allí cuando las autoridades empezaron a ver la problemática de los arroyos como un factor que alteraba el progreso de la ciudad.

En los siguientes años y cuando ya se encontraba constituida la problemática de los arroyos de barranquilla, muchas empresas extranjeras se interesaron en brindar propuestas que solucionaran este problema, sin embargo ninguna de ellas se llevó a cabo debido a los altos costos económicos que esto conllevaría.

La primera empresa que se interesó en brindar una propuesta de solución fue “R.W. Herbard&Company Inc. de Nueva York” que para el año de 1920 presento un programa de pavimentación y de alcantarillado pluvial [20].

En 1957, la Compañía Town Planning Collaborative, establece el Primer Plan Regulador de la ciudad, con base en la Ley 88 de 1947. En dicho plan recomienda la canalización de algunos arroyos. El proyecto pretendía reordenar el espacio físico y evitar el caos urbano. Como todo proyecto, estaba sujeto a los intereses políticos del momento, y encontró poca receptividad. Aunque se aminoró el desorden, el programa no solucionó en toda su dimensión el problema.

Ante la imposibilidad de darle paso a soluciones integrales, comenzaron a ejecutarse trabajos puntuales, en los arroyos más peligrosos. En septiembre de 1962, se inaugura la primera etapa de canalización del arroyo Rebolo Las

## DISEÑO DEL MODELO ECONOMICO ENERGETICO PARA UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA (MEESAT) PARA LOS ARROYOS DE BARRANQUILLA.

Empresas Públicas Municipales proponen en la década del 60 y 70 algunos estudios para solucionar la problemática del arroyo Felicidad.

En 1975, se presentó un estudio técnico-económico por parte de la firma Senior&Viana y Paternostro y Medina "CONASTEC", con un costo estimado en \$1.789.692.000, para solucionar la problemática de los arroyos de Felicidad, La Paz, Bolívar y Hospital. De nuevo el proyecto fue rechazado por el elevado costo.

En 1987, se realizó el Estudio de Drenaje Urbano para Barranquilla, a cargo de la Agencia de Cooperación Internacional de la Misión Japonesa, JICA. Como resultado de su trabajo presentaron dos planes a consideración del municipio y su área metropolitana: un Plan Maestro de Transporte y un Estudio de Factibilidad para el Distrito de Barranquilla. El estudio de la Misión Japonesa fue uno de los más completos acerca de la problemática de los arroyos, y estableció que la solución era la construcción de un alcantarillado pluvial. Su plan se basaba en adelantar la canalización de los arroyos que se desarrollan por las vías de la ciudad, en tanto que para los arroyos de la zona sur-occidental, el plan contempló otras medidas encaminadas a controlar las inundaciones.

En 1994, el Gobierno Municipal a través del alcalde Bernardo Hoyos, presentó una propuesta al gobierno canadiense con el objetivo de que este país realizara en Barranquilla el alcantarillado pluvial que se necesitaba. La propuesta fue rechazada.

En general cada una de las propuestas antes mencionadas y que presentaban una alternativa de solución a esta problemática, nunca fueron ejecutadas, las razones por las cuales no fueron atendidas siempre fueron las mismas, los recursos económicos del departamento para atender este inconveniente no son suficientes, por tal razón todas estas propuestas fueron desechadas. Mientras tanto la ciudad continua lidiando con este flagelo el cual sigue deteriorando la infraestructura urbanística, paralizando la ciudad, provocando accidentes, deteriorando la salud pública, causando enfermedades, paralizando las actividades portuarias, deteriorando la imagen de la ciudad, disminuyendo el progreso, y deteriorando la calidad de vida de los habitantes de barranquilla.

Razones como las antes mencionadas conllevan a la universidad de la costa CUC a desarrollar el proyecto de un sistema de alertas tempranas para la detección de los niveles de peligrosidad de los arroyos de barranquilla, que mitigue los estragos causados por este flagelo, y que a su vez se presente como una alternativa de solución que arroje resultados que contribuyan a la mejora y al progreso de la ciudad. Inmerso en este proyecto se encuentra el diseñar el modelo de consumo



## DISEÑO DEL MODELO ECONOMICO ENERGETICO PARA UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA (MEESAT) PARA LOS ARROYOS DE BARRANQUILLA.

energético, tomando como puntos de referencia cada elemento del sistema que integra el SAT, para hacer un análisis que permita estimar la carga total del sistema, la viabilidad y sostenibilidad del mismo.

A continuación se enumeran los beneficios de la realización de un modelo de consumo energético para el sistema de alertas tempranas.

- El diseño de un modelo de consumo energético, permitirá conocer el consumo de cada elemento instalado, y el consumo total del sistema.
- Se determina la viabilidad del proyecto en relación costo VS beneficio.
- Se determina por medio de un modelo de consumo energético la autonomía y sostenibilidad del proyecto mediante fuentes renovables de energía.
- Se determina la factibilidad del suministro de energía a través de la red convencional del operador de red.
- Se requiere la realización de un modelo energético para establecer la eficiencia y eficacia necesaria para lograr definir la viabilidad del proyecto en relación al tiempo de uso.
- Se establecen los requerimientos principales para el funcionamiento, mantenimiento y seguridad del sistema.
- Se determina la proyección de la demanda en relación a la implementación de los puntos de conexión para cubrir los principales arroyos de barranquilla.
- Se determina el retorno de la inversión.

El diseño de un modelo económico energético contribuye en gran manera al desarrollo del sistema de alertas tempranas, proyecto liderado por la Universidad de la Costa (CUC), que junto con el apoyo de Colciencias pretenden aportar una solución que mitigue el impacto ocasionado por esta problemática, por lo anterior y los beneficios enumerados, se hace necesario la realización de un modelo que abarque los parámetros eléctricos correspondientes al SAT, y que a su vez presente una alternativa de sostenibilidad y viabilidad del sistema con relación a la implementación del mecanismo de suministro de energía ya sea convencional o renovable.

## CAPITULO II: MARCO TEORICO

Del término modelo se derivan una variedad de tipos aplicados en casi todos los campos profesionales, existen muchos modelos que se implementan en las distintas aéreas de desarrollo científico como: modelos matemáticos, modelos científicos, modelos arquitectónicos, modelos económicos, modelos tecnológicos entre otros, el objeto de estudio de este capítulo es lograr brindar una definición clara en lo que se requiere a un modelo de consumo energético y sus distintas aplicaciones y características en el mundo, para ello se recurre al estudio de los modelos energéticos implementados actualmente.

Este capítulo presenta los conceptos asociados con el modelo económico energético y proporciona una extensa introducción a muchos conceptos y herramientas muy importantes, el cual se convierten en el tema principal del estudio de este proyecto.

### **2.1 Modelo Energético.**

Un modelo energético se define como la forma que se elige para satisfacer las necesidades energéticas, ya sea su origen, una fuente convencional o renovable de energía. Teniendo en cuenta el uso que se le da, según la cultura y las necesidades que presente el país donde se implementa. Un modelo energético se basa en estándares para el aprovechamiento de la energía de tal forma que su utilidad sea mayor que su costo [21]. Existen varios parámetros que se encuentran inmersos en un modelo energético, como lo son:

- Políticas internas del país.
- Tecnología.
- Recursos naturales.
- Impacto social
- Impacto ambiental.
- Impacto cultural, entre otros.

Existen varios tipos de modelos energéticos, cada país asume su propio estándar según los recursos y el desarrollo económico, los cuales le permiten establecer bajo qué criterio estará basado su modelo de energía. Algunos países se encuentran en la disyuntiva de optar por un modelo económico común desarrollado por fuentes convencionales de energía, las cuales a su vez, medidas en una línea de tiempo son agotables, u optar por un modelo económico energético sostenible, capaz de brindar alternativas en la generación de energía por medio de fuentes renovables de energía. Por ejemplo, cada país cuenta con

un modelo económico energético. En el caso de países como Colombia, el cual actualmente cuenta con una riqueza natural amplia la cual ha permitido que su modelo energético sea considerado en el mundo como un ejemplo de sostenibilidad, ocupando actualmente el sexto lugar de 105 países, quedando ubicada por encima de potencias como España, Letonia, Brasil, Dinamarca y solo siendo superada por Noruega, Francia, suiza, Nueva Zelanda, Suecia, según el estudio realizado por el foro económico mundial, Colombia ha cumplido con sus obligaciones en la generación de energía a partir de fuentes renovables y en la disminución de emisión de dióxido de carbono. Actualmente tiene como recurso principal de generación y sostenibilidad de la energía los recursos hídricos y térmicos, siendo el primero el que suple la mayor demanda de energía del país. [1], [2]

Otro ejemplo, situación contraria a la que se vive en Colombia, es el modelo energético implementado en España. Donde su modelo energético está sujeto a su condición geográfica, la cual los impulsa a innovar y buscar alternativas que permitan suplir la demanda de un país que no cuenta con muchos recursos hídricos para producción de generación hidráulica. Su modelo energético se encuentra basado en su gran mayoría por fuentes alternativas de energía, convirtiéndose de esta manera en un país que apuesta en su totalidad por el desarrollo de un modelo económico sostenible, y logrando como resultado la no dependencia energética en un 90% de fuentes convencionales de energía. Actualmente es reconocida en el mundo por su cultura de ahorro energético y por el apoyo dado a la investigación de nuevas alternativas de energía. [1], [2].

### **2.1.1 Conceptos relacionados con la implementación de un modelo energético en un sistema de alertas tempranas.**

Un modelo económico energético sostenible, encierra variedad de conceptos aplicables a diferentes proyectos, de esta manera se enfatiza en aquellos conceptos aplicables para el desarrollo de un sistema de alerta temprana para la detección de los arroyos de barranquilla.

#### **2.1.1.1 Energía eléctrica**

Resulta de la existencia de una diferencia de potencial entre dos puntos, lo que permite establecer una corriente eléctrica entre ambos cuando se los pone en contacto por medio de un conductor eléctrico. La energía eléctrica puede transformarse en muchas otras formas de energía, tales como la energía lumínica, energía mecánica y energía térmica entre otras. La energía eléctrica es fundamental para el desarrollo de un sistema de alerta temprana, de ella depende el buen funcionamiento del proyecto, por esta razón se busca emplear el uso de

fuentes renovables de energía, para lograr una dependencia energética de la fuente convencional de energía aportada por el operador de red, Electricaribe S.A. E.S.P.

#### **2.1.1.2 Costos asumidos**

Principalmente se busca la independencia energética para el desarrollo y sostenimiento del proyecto en un 90%, teniendo como reserva el 10 % restante mediante la conexión a la red convencional de energía suministrada por el operador de red, (Electricaribe S.A. E.S.P.), de esta manera los costos en gran parte, serán asumidos por el cliente, y habrá una disminución debido a que se ahorran los costos de instalación de acometida, instalación de transformador, instalación de contador, en otras palabras, se ahorrarían el consumo mensual reflejado en un recibo de energía por parte del operador de red, y asumido por el usuario final.

#### **2.1.1.3 Fallas técnicas**

La energía suministrada debe contar con máximos estándares de calidad, confiabilidad, seguridad, teniendo en cuenta el objetivo final del proyecto como lo es la prevención y disminución de riesgo en los arroyos de barranquilla, bajo este estándar se debe establecer que la potencia suministrada sea ininterrumpida, sobre todo en época invernal, en donde tendrá que verse reflejado al máximo la aplicabilidad del proyecto. Dada esta condición y observando el comportamiento de la energía suministrada por el operador de red, en época invernal en la ciudad de barranquilla, se llega a la conclusión, que no es pertinente que el proyecto dependa de la red de distribución dadas sus falencias y su carencia de confiabilidad (cortes de energía) en tiempos de lluvia.

#### **2.1.1.4 Contribuir con el medio ambiente**

Este proyecto se visiona como uno de los pioneros a nivel local que impulsa el desarrollo de fuentes renovables de energía, y por lo tanto el cuidado del medio ambiente, al no depender de redes convencionales de energía y contribuir con la emisión de Dióxido de carbono a la atmosfera.

## **2.2 Indicadores energéticos**

Los siguientes son considerados como los indicadores energéticos relevantes para evaluar la sostenibilidad de un modelo energético aplicado al sistema de alertas tempranas de la ciudad de barranquilla para la detección de los arroyos.

### **2.2.1 Cantidad de energía.**

Capacidad de almacenamiento de energía de los paneles fotovoltaicos instalados en los puntos de conexión del proyecto, el cual esta energía es entregada a los equipos que están instalados en el sistema para su consumo. Es necesario garantizar que la energía requerida por cada equipo a alimentar sea proporcionada por la capacidad de almacenamiento instalada mediante de los paneles fotovoltaicos. Para lograr garantizar la continuidad y operatividad cuando el proyecto lo requiera.

### **2.2.2 Costo de energía.**

No se puede hablar de costo de energía, porque uno de los objetivos del proyecto es lograr que las fuentes alternativas de energía distintas de la red convencional puedan suplir la demanda del sistema. Pero partiendo de esta perspectiva, se puede empezar a diseñar un proyecto que desarrolle o involucre una generación distribuida para generar energía y poderla entregar a la red y de esta manera recibir una remuneración económica, o también poder vender esta energía a el usuario que lo requiera. En este caso ya se estaría hablando de costos de energía.

### **2.2.3 Seguridad de suministro**

Este sistema como se menciona anteriormente debe de contar con todas las garantías, tanto eléctricas como ambientales, es decir, el suministro eléctrico no puede fallar, esto ocasionaría el colapso del sistema, es por esta razón que cada dato, cada medida, tomada y registrada debidamente, deberá ser comparada con la oferta de energía recolectada a través de los paneles fotovoltaicos. De igual manera las condiciones ambientales para la instalación deben de ser óptimas para que se pueda permitir el buen funcionamiento de los equipos instalados, en este caso los paneles fotovoltaicos encargados de la captación de la energía obtenida del sol, deben de estar ubicados en sitios estratégicos con el fin de garantizar un rendimiento óptimo.

#### **2.2.4 Impacto natural**

El impacto generado, representa un aporte para el medio ambiente en la disminución de emisiones de dióxido de carbono, e impulsa la tendencia de fuentes renovables de energía en la ciudad, permitiendo que las empresas e industrias se interesen por implementar y mejorar sus sistemas eléctricos mediante la utilización de fuentes renovables de energía, utilizando energía limpia y sostenible.

#### **2.2.5 Impacto social**

Se estima que el proyecto cause un impacto social de manera positiva, creando una cultura del ahorro, una disminución de emisiones de gases tóxicos, una mejora en las instalaciones eléctricas en las empresas e industrias mediante la utilización de fuentes renovables de energía, se espera que haya mayor inversión en la promoción y desarrollo de fuentes alternativas de energía mediante los centros de educación de la ciudad, y/o afines. Dentro de los imprevistos se considera el vandalismo y la delincuencia, teniendo en cuenta el costo de los equipos, los cuales tienden a ser hurtados o dañados.

#### **2.2.6 Impacto tecnológico:**

Se espera un impacto tecnológico de tal manera que logre impulsar el desarrollo y avance de las fuentes renovables de energía en barranquilla, al tratarse de un asunto nunca antes visto en la ciudad, al ser novedoso, y brindar la garantía de ser auto sostenible. Se espera que las empresas, y las instituciones educativas se interesen e inviertan en este tipo de proyectos, para lograr un gran desarrollo energético.

#### **2.2.7 Consecuencias**

El principal obstáculo a vencer, es el de lograr suministrar la demanda requerida por todo el sistema de alertas tempranas, por medio de la captación de energía mediante los paneles solares.

### 2.3 Ejemplos implementados de modelos económicos energéticos.

La aplicación de un modelo energético varía desde la implementación en el desarrollo energético de un país, hasta la implementación de un proyecto benéfico para dar solución a una necesidad presente en una comunidad urbana o rural, también son aplicables en proyectos de desarrollo científico, y en proyectos de análisis econométricos, entre otros.

Para el estudio del presente proyecto se tomó como referencia un proyecto de desarrollo urbano de una comunidad en Senegal la cual no contaba con el suministro de energía, la razón principal por la cual se toma este ejemplo es por la similitud existente entre ambos proyectos, los cuales tienen en particular un estudio del suministro de energía a través de fuentes convencionales y renovables, de igual manera se pretende dar solución a una problemática presente en esa comunidad, se debe aclarar que los proyectos son totalmente diferentes ya que la problemática de los arroyos de barranquilla es única en el mundo y por este motivo no existe otro ejemplo que sirva de referencia para hacer el respectivo análisis de este.

**Tabla 1. Mini central solar para una comunidad rural de Senegal<sup>2</sup>**

<b>Nombre:</b>	Kakeur Medoume.
<b>Región:</b>	Thiès
<b>Departamento:</b>	Tivaouane.
<b>País</b>	Senegal
<b>Duración:</b>	Año 2010 – Presente.

En la presente tabla se puede apreciar la localización del proyecto de la instalación de una mini central solar para la comunidad rural. Esta comunidad llamada Kakeur Medoume se encuentra en la región de Thiès, más específicamente en el departamento de Tivaouane, cerca de la ciudad de Mekhé. En ella viven 49 familias, las cuales suman un total de unas 700 personas. La comunidad cuenta con 3 pequeñas mezquitas, 2 escuelas coránicas y un puesto de salud. La actividad económica principal es la agricultura, seguida de la ganadería. Además, existen algunas actividades relacionadas con el pequeño comercio, sus actividades económicas se ven afectadas por la falta del suministro de energía con que se cuenta en la región. Ya que las bombas de agua instaladas para regar las cosechas se ven afectadas al no contar con energía eléctrica. Con

---

<sup>2</sup> Tabla referenciada de <http://www.ongawa.org/wp-content/uploads/2013/07/Evaluacion-de-modelos-energ%C3%A9ticos-8-casos.pdf> . Página 22 del pdf

## DISEÑO DEL MODELO ECONOMICO ENERGETICO PARA UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA (MEESAT) PARA LOS ARROYOS DE BARRANQUILLA.

el objetivo de ponerle fin a esta problemática y contribuir con la mejora del alumbrado público se ideó este proyecto que a continuación se describe.

Las entidades encargadas y comprometidas con el desarrollo del proyecto se presentan en la Tabla 2 donde se presentan los agentes participantes en el desarrollo del proyecto, el compromiso y la unión de recursos de estas tres entidades han logrado que a fecha de hoy el proyecto se encuentre en una fase avanzada y que poco a poco las necesidades de la comunidad rural de Senegal sean solucionadas.

**Tabla 2. Entidades encargadas del desarrollo del proyecto<sup>3</sup>**

Entidad	Función
UNION DES GROUPEMENTS PAYSANS DE MECKHE (UGPM).	La Unión de Agrupaciones Campesinas de Meckhé. La UGPM identificó las necesidades específicas de la comunidad de Kakeur Medoume y ha sido el impulsor del proyecto de la mini central solar fotovoltaica.
KAYER	Kayor Energie Rurale (KAYER) es una empresa de energía solar fotovoltaica. Es la encargada de la instalación y mantenimiento de la mini central solar.
COOPERATIVE RURALE D'EPARGNE ET DE CREDIT DU CAYOR (Cooperativa rural de ahorro y crédito de Cayor).	Institución de ahorro y microcrédito, Cuenta con un "crédito solar" del que se benefician 150 familias y que les ha permitido hacer frente a los gastos de inversión de las instalaciones solares"

### 2.3.1 Descripción del proyecto

De acuerdo a las necesidades encontradas por las empresas encargadas del desarrollo del proyecto se plantea como solución la construcción de una Mini central solar fotovoltaica de 2,56 KW con acumulación en baterías. Sirve para alimentar un sistema de bombeo que abastece de agua potable a la comunidad y que está conectado a un sistema de irrigación por goteo para regar una hectárea de terreno. Además, la mini central alimenta cuatro puntos de alumbrado colocados en diferentes emplazamientos públicos y unos enchufes para la recarga de los móviles y las radios.

#### 2.3.1.1 Impacto del proyecto

Para la realización del proyecto se evaluaron 4 aspectos: económico, social, ambiental, empoderamiento. La gran mayoría de los impactos evaluados considera que el nivel es positivo. Este ejemplo sirve como referencia y guía básica para el desarrollo del modelo económico energético planteado en el

<sup>3</sup> Tabla referenciada de <http://www.ongawa.org/wp-content/uploads/2013/07/Evaluacion-de-modelos-energ%C3%A9ticos-8-casos.pdf>. Página 24-25 del pdf.



## DISEÑO DEL MODELO ECONOMICO ENERGETICO PARA UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA (MEESAT) PARA LOS ARROYOS DE BARRANQUILLA.

presente proyecto, ya que mediante él se pueden analizar parámetros que deben ser tenidos en cuenta al momento de evaluar en un modelo económico energético.

En la Tabla 3 se presentan los resultados a nivel de principio. Puede observarse que el proyecto tiene un alto impacto en tres de los cuatro principios definidos por la Herramienta S&E (Sustainability & Empowerment), la cual es diseñada para a evaluación de los proyectos con alto impacto en el desarrollo humano, esta herramienta evalúa principios como: económico, empoderamiento y medioambiental [22].

**Tabla 3. Mini central solar fotovoltaica<sup>4</sup>**

PRINCIPIO	CRITERIO	IMPACTO A NIVEL CRITERIO				IMPACTO A NIVEL PRINCIPIO
		Negativo (n)	Neutro (N)	Bajo (B)	Alto (A)	
ECONOMICO	1. Desarrollo económico local					ALTO
	2. Generación de empleo					
	3. Mejoras en infraestructura y servicios locales					
	4. Sostenibilidad económica					
SOCIAL	5. Mejora de las condiciones de vida y derechos humanos					BAJO
	6. Formato de educación					
	7. Contribución a la salud					
EMPODERAMIENTO	8. Transferencia de tecnología					ALTO
	9. Participación de los grupos de interés					
	10. Generación de capital social					
	11. Empoderamiento de grupos vulnerables (niñez, mujeres, personas con discapacidad)					
AMBIENTAL	12. Sostenibilidad de recursos y gestión de residuos.					ALTO
	13. Seguridad ambiental					
	14. Mejoría y/o protección de recursos naturales					

<sup>4</sup> Fuente: EMPRESA Y DESARROLLO: MIDIENDO IMPACTOS – ONGAWA

## DISEÑO DEL MODELO ECONOMICO ENERGETICO PARA UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA (MEESAT) PARA LOS ARROYOS DE BARRANQUILLA.

---

La herramienta S&E, desarrollada por el GOCMA (centro de innovación tecnológico para el desarrollo humano), comienza a gestarse a partir de los informes realizados por este grupo sobre los Mecanismos de Desarrollo Limpio en los años 2008 y 2009, encargados por Intermón Oxfam (organización no gubernamental para el desarrollo en España)[22].

Los principios evaluados durante la implementación del proyecto en la comunidad de Senegal fueron de alto impacto, logrando que la producción de energía obtenida de la mini central fotovoltaica contribuya a la mejora de los sistemas de riego para las cosechas, aportando a la mejora económica y a la reducción de gastos por compra de alimentos y al incremento de los ingresos económicos gracias a la venta de los productos cosechados. Se creó un huerto, el cual se ha convertido en generación de empleo de 5 familias que son las encargadas de su funcionamiento, además se han creado otras actividades generadoras de ingresos, como la recarga de móviles y de radios.

Las infraestructuras y servicios locales también se han visto mejoradas. Con anterioridad al proyecto, la comunidad no disponía de electricidad. Ahora cuenta con cuatro puntos de alumbrado público y unos enchufes que permiten a los habitantes cargar sus aparatos eléctricos, sin necesidad de tener que desplazarse diariamente varios kilómetros a alguna comunidad cercana. El acceso al agua también se ha visto mejorado, pues el sistema de bombeo solar ha substituido a uno manual. Estas mejoras son el reflejo de la implementación de un modelo energético que ha logrado contribuir en la mejora de la calidad de vida de las personas.

Se ha logrado aumentar la seguridad en la comunidad gracias a los puntos de conexión para los alumbrados públicos, como valor agregado la educación se ha visto mejorada, ya que los niños pueden ir a las escuelas de noche a estudiar, los hospitales se han visto beneficiados con el suministro de agua. .

La participación de los grupos de interés ha sido una realidad desde el principio. La empresa local KAYER ha elegido la mini central solar como solución técnica a una necesidad identificada por la propia comunidad. Las mujeres han visto mejoradas sus condiciones de vida, ya que el sistema de bombeo solar ha reducido el tiempo y el esfuerzo que deben realizar en la recogida de agua.

En relación al impacto ambiental obtenido, la instalación permite realizar un aprovechamiento eficaz de los recursos naturales. El aumento de la cantidad de agua gracias al sistema de bombeo solar ha tenido un importante impacto en el rendimiento de las cosechas.

## 2.4 Clasificación de modelos energéticos.

Existen varios tipos de modelos energéticos, los cuales dependen de las condiciones específicas del entorno en el cual este se presente. Donde cada país asume su propio modelo energético, un ejemplo claro de ello es el modelo energético que se implementa en Colombia, el cual tiene como recurso principal de generación y sostenibilidad de la energía a los recursos hídricos y térmicos, pero muy diferente de este modelo, es el que se encuentra en España, debido a los recursos energéticos con los que cuenta y su condición geográfica, los cuales han impulsado un desarrollo de nuevas tendencias aprovechando las fuentes alternativas de energía para la generación; actualmente su modelo energético se encuentra basado en fuentes alternativas de energía tales como la energía eólica y solar, convirtiéndose de esta manera en los pioneros del impulso de un modelo **económico energético sostenible**, la creación de una cultura energética de ahorro y apoyo a la investigación de fuentes alternativas de energía. [1], [2], [3].

La situación energética mundial actual es el resultado de múltiples tendencias que a lo largo del tiempo se han venido acrecentando, y que han derivado en la creación de modelos que sustenten las peticiones de las múltiples tendencias mundiales tales como económicas, políticas, sociales y ambientes. Uno de los grandes problemas energéticos que se presentan son los altos costos y la escases que se puede suponer con el paso del tiempo de los hidrocarburos para la generación de la energía, logrando de esta manera que se introduzcan nuevas tendencias como lo son la implementación de modelos económicos energéticos sostenibles, que contribuyan con la mejora y el no deterioro del planeta. Existen muchos modelos energéticos, los cuales se clasifican en varias categorías y sub-categorías, utilizando mecanismos diferentes, dependiendo de las necesidades primordiales donde se pretenda implementar, la clasificación de un modelo energético está basada en diferentes conceptos fundamentales, alguno de ellos profundizan en modelos matemáticos, simulaciones virtuales, otros prefieren centrarse un poco más en aspectos sociales y ambientales, mientras que otros modelos prefieren profundizar en análisis económicos y estadísticos [23].

## DISEÑO DEL MODELO ECONOMICO ENERGETICO PARA UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA (MEESAT) PARA LOS ARROYOS DE BARRANQUILLA.

**Tabla 4. Resumen de enfoques de modelos<sup>5</sup>**

<b>Clasificación</b>	<b>Categorías</b>
<b>Según el propósito</b>	Estos pueden clasificarse en las siguientes categorías : 1 Modelos de demanda 2 Modelos de oferta 3 Modelos de sistemas
<b>Según la cobertura</b>	Se puede clasificar en las siguientes categorías: 4 Planificación nacional 5 Análisis de política global
<b>Según el enfoque de modelación</b>	Estos se pueden clasificar en las siguientes categorías: 6 Optimización 7 Simulación y equilibrio parcial 8 Modelos de uso final o contabilidad 9 Modelos de equilibrio general computable 10 Modelos de desarrollo resientes
<b>Basada en un modelo auxiliar</b>	Estos se pueden clasificar en las siguientes categorías: 11 Modelos híbridos 12 Modelo de empaquetado 13 Modelos econométricos 14 Modelos End-Use accounting
<b>“Bottom up” VS “top Down”</b>	Estos se pueden clasificar en las siguientes categorías: 15 Bottom UP 16 Top Down
<b>Basada en la cobertura geográfica</b>	Estos se pueden clasificar en las siguientes categorías: 17 Locales 18 Nacionales 19 Global
<b>Clasificación basada en el tiempo</b>	Estos se pueden clasificar en las siguientes categorías: 20 Periodo corto 21 Periodo medio 22 Periodo largo

Las grandes necesidades que presenta la situación actual mundial, ha conllevado a replantear las políticas energéticas de cada país, los estragos del cambio climático, la oferta y la demanda energética, entre otros, son los desafíos a los que cada país debe enfrentar para analizar y tomar medias que puedan brindar una solución a las problemáticas presentes. Por tal motivo, existen diversas clasificaciones y categorías según la prioridad presente. Según los expertos, los modelos energéticos actuales apuntan a una iniciativa de reestructuración

<sup>5</sup> Obtenida de  
[http://antiguo.minenergia.cl/minwww/export/sites/default/05\\_Public\\_Estudios/descargas/estudios/texto2.pdf](http://antiguo.minenergia.cl/minwww/export/sites/default/05_Public_Estudios/descargas/estudios/texto2.pdf)

energética, dando prioridad a la eficiencia energética para contribuir a la mejora y el no deterioro del planeta. El propósito de los diversos modelos es poder satisfacer las distintas necesidades presentes en cada población del mundo, sin embargo, todos los modelos presentan virtudes y limitaciones, que a continuación serán explicadas y detalladas en la siguiente sección.

#### 2.4.1 Clasificación “bottom up” - “top down”.

El modelo **Bottom up** analiza el estado micro-económico, dispone de una base de ingeniería en donde en muchos casos se especifican los requerimientos energéticos de equipos y maquinarias para determinar el consumo energético [4].

Características:

- Usa datos económicos agregados.
- Evalúa costo/beneficio a través de impactos en producción.
- Asume eficiencia de mercados.
- Captura retroalimentación e interacciones intersectoriales.
- No es un enfoque adecuado para examinar políticas económicas específicas.

El modelo **Top-Down** es todo lo contrario al anterior, ya que se encarga de un análisis macroeconómico, en donde se realizan modelos de equilibrio general computables que disponen de una importante consistencia con la teoría económica. También se cuenta con modelos de tipo econométricos que permiten incorporar de manera la información histórica disponible [4].

Características:

- Usa datos detallados en combustibles.
- Evalúa costo/beneficio de tecnologías y políticas individuales.
- No necesariamente asume eficiencia de mercado.
- Captura interacciones entre proyectos y políticas.
- Utilizado para evaluar costo/beneficio de programas.

#### 2.4.2 Clasificación basada en modelo de empaquetado.

##### 2.4.2.1 Modelo paquete simple.

Los modelos energéticos de paquete simple aparecen como un solo paquete. Como ejemplo de modelos: EFOM. MARKAL.

#### 2.4.2.2 Modelo paquete modular.

Los modelos con paquetes modulares ofrecen módulos separados para diferentes componentes de una cadena energética, como por ejemplo, recursos, oferta, demanda, economía, impactos en el medioambiente. Los modelos de sistemas de energía son sobre todo de un tipo modular. Como ejemplos de modelos: ENPEP, DECPAC [5].

#### 2.4.3 Clasificación basada en un modelo auxiliar.

Este tipo de modelos pueden ser clasificados en cuatro tipos diferentes [5]:

- **Modelos Econométricos.** Se utilizan para desarrollos en el análisis y la búsqueda académica más que para propósitos de planificación energética real.
- **Modelos de Optimización.** Son utilizados como modelos de oferta energética cuyo objetivo principal se confiere a la predicción o planificación de oferta. Como ejemplo de modelos: MARKAL, EFOM, EASP, DECPAC.
- **Modelos End-Use accounting.** Se utilizan en modelos de demanda energética, como el modelo MEDEE-S.
- **Modelos Híbridos.** Se emplean modelos de sistemas energéticos con paquetes modulares. Cada módulo utiliza diferentes aproximaciones de modelos. Por ejemplo el modelo POLES emplea aproximaciones econométricas en módulos macroeconómicos.

#### 2.4.4 Clasificación basada en una cobertura geográfica.

Estos son utilizados para el desarrollo de un modelo energético dependiendo de la región o ubicación geográfica, se tienen en cuenta aspectos locales, regionales, nacionales o globales dependiendo de la ubicación exacta [5].

#### 2.4.5 Clasificación basada en el tiempo.

Según el tiempo los modelos pueden clasificarse en modelos a corto, mediano y largo plazo. Los modelos a corto plazo se consideran en una ventana de tiempo no superior a 5 años. Los modelos a mediano plazo oscilan entre 5 y 25 años mientras que un modelo a largo plazo comprende espacio de desarrollo entre 25 y 100 años [5].

## **2.4.6 Modelos con mayor influencia en el mundo**

### **2.4.6.1 Modelo LEAP:**

Este modelo responde a un enfoque de modelización flexible, las relaciones básicas están todas representadas en términos físicos cuantitativos no sofisticados. En función de la información de base disponible, el modelo permite simular y analizar los impactos de una política energética con mayor o menor grado de detalle, permite interactuar con otros modelos, introduciendo en LEAP sus resultados de un análisis de expansión del sector eléctrico basado en modelos de optimización o se pueden utilizar sus propias herramientas para optimizar [24].

Es una herramienta de software ampliamente utilizado para el análisis de la política energética y la evaluación de la mitigación del cambio climático desarrollada en el Instituto Ambiental de Estocolmo [24].

Sus usuarios incluyen agencias gubernamentales, académicas, organizaciones no gubernamentales, empresas de consultoría y servicios públicos de energía. Se ha utilizado en muchas escalas diferentes que van desde ciudades y estados a las solicitudes nacionales, regionales y mundiales. A continuación se relacionan proyectos que han implementado el modelo LEAP:

- Estudios de reducción de gases efecto invernadero en: Argentina, Bolivia, Ecuador, Korea, Tanzania, Senegal.
- USA. Estudios de reducción de GHG en California, Washington, Oregon y Rhode Island.
- APERC Energy Outlook: Pronóstico de Demanda de Energía en Economías de la APEC.
- Proyectos Energéticos Asia del Este: Estudio de Seguridad Energética en Asia del Este.

LEAP se ha convertido en el factor estándar para los países que llevan a cabo la planificación de recursos integrados, el gas de efecto invernadero, evaluaciones de mitigación y estrategias de baja emisión de Desarrollo. Muchos países también han optado por utilizar LEAP como parte de su compromiso de informar a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático [24].

## DISEÑO DEL MODELO ECONOMICO ENERGETICO PARA UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA (MEESAT) PARA LOS ARROYOS DE BARRANQUILLA.

A continuación se relaciona el esquema general del proceso de cálculo realizado por el LEAP.

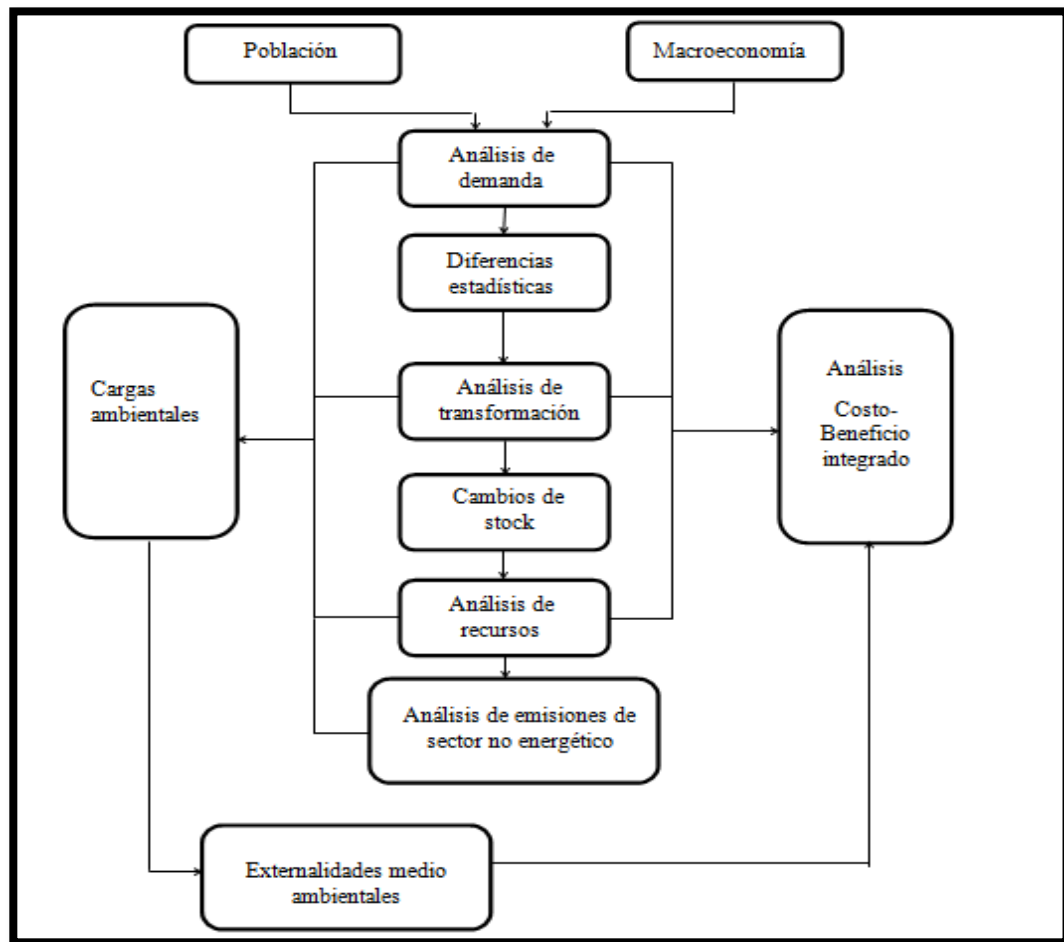


Figura 1. Esquema general del proceso de cálculo realizado por el LEAP<sup>6</sup>.

En esta imagen se observa el diagrama de proceso del LEAP, en donde se destacan sus principales factores de análisis, como son la oferta vs demanda, análisis de transformación, análisis de recursos entre otros. Como entrada principal del diagrama de procesos se observa el estudio de la población y el análisis macroeconómico. Y como resultado final del modelo LEAP es el análisis costo- beneficio integrado.

<sup>6</sup> Fuente: BAZÁN NAVARRETE, G., & ORTIZ MUÑIZ, G. (Marzo - Abril de 2010). Modelos de planeación energética.



#### **2.4.6.2 Modelo MARKAL:**

Es un modelo de análisis de procesos dinámicos específicamente diseñado para manejar los tipos de restricciones que describen un sistema energético.

Este modelo está desarrollado para hacer análisis de política energética y ambiental con un alcance en tiempo de 40 a 50 años, en periodos de 5 años, para un sistema energético preestablecido. Es un modelo integrado, construido en programación lineal, que hace un análisis Arriba-abajo de la demanda como entrada, y un análisis de la oferta, Abajo-arriba, atendiendo a los tipos de tecnología presentes y futuras, como control [25].

Se define un caso de referencia con la demanda estimada y ninguna medida financiera o de abatimiento de emisiones. Después se introducen las medidas de mercado o los porcentajes de reducción requerida y se generan los casos eligiendo las tecnologías por el costo mínimo para la opción. Las salidas típicas son curvas de abatimiento de costo o los costos marginales por caso. Es un modelo que requiere de una gran cantidad de datos, tanto económicos como tecnológicos [25].

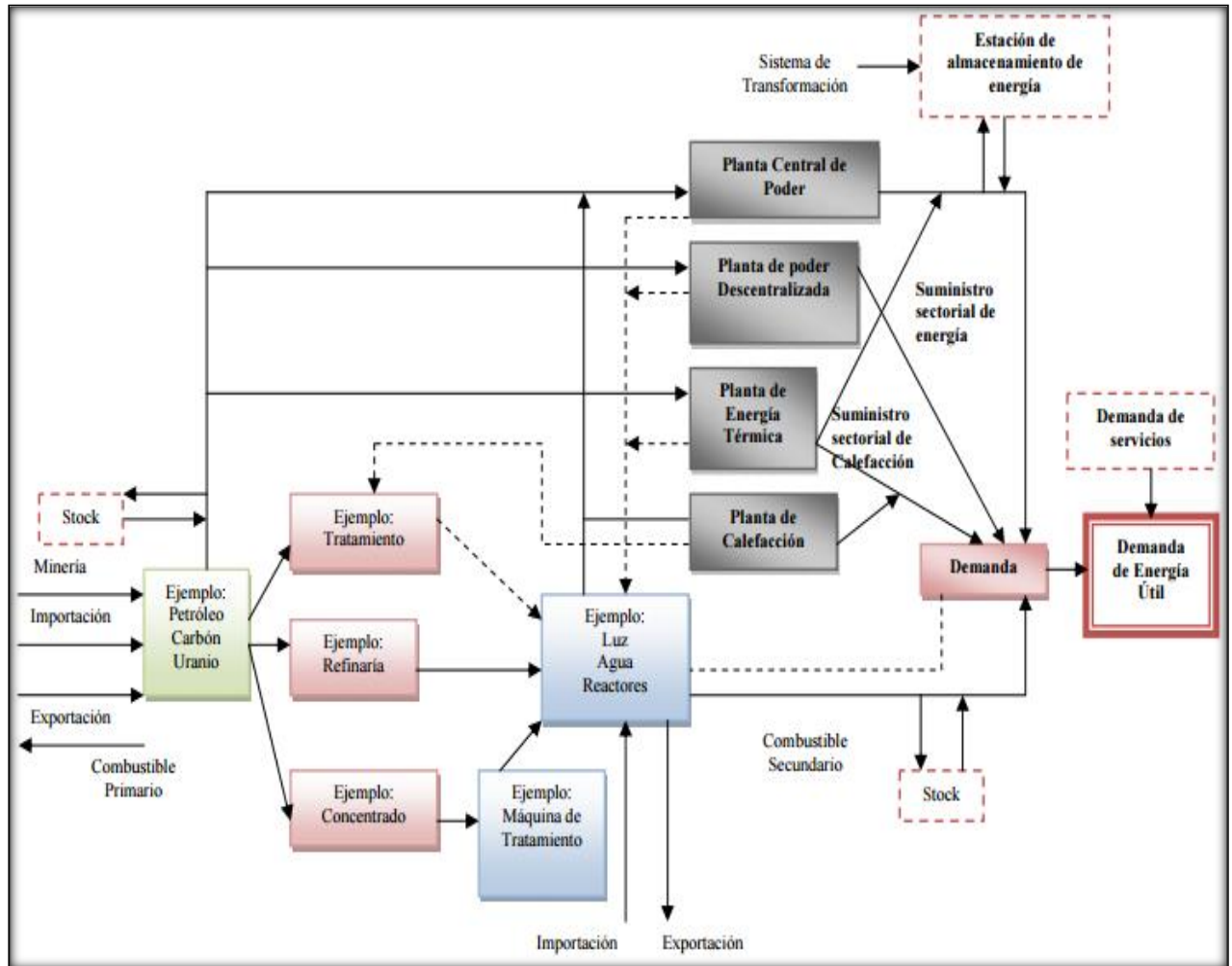
El primero paso es definir un Sistema Energético de Referencia que represente el sistema energético completo, desde la extracción de recursos, transformación, transmisión, distribución y consumo. La definición de este sistema es la base del modelo, y en el que se representan todas las tecnologías disponibles y todas las relaciones entre oferta y consumo.

El segundo paso de la estructura del MARKAL sería definir las condiciones actuales del sistema, su capacidad de expansión y los posibles cambios de tecnología, que podrían darse en el período a analizar.

El tercer paso es definir los escenarios posibles, a partir de lo que se conoce como un árbol de eventos, que define para cada periodo de tiempo las posibilidades de evolución del sistema, que suelen ser sólo dos por periodo de tiempo.

El cuarto y último paso consistiría en elegir el mejor escenario posible. Esto se hace a partir de técnicas de optimización lineales y no lineales, que buscan los equilibrios parciales entre la oferta y la demanda, se elige a aquel que minimiza los costos.

## DISEÑO DEL MODELO ECONOMICO ENERGETICO PARA UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA (MEESAT) PARA LOS ARROYOS DE BARRANQUILLA.



**Figura 2. Esquema de flujo energético del modelo MARKAL.**

El esquema de flujo de energía muestra las interrelaciones que se producen para llegar a la demanda final, primero considerando combustibles primarios y variable de stock, controlando por importaciones y exportaciones. Luego, combustibles secundarios y variable de stock, controlando por importaciones y exportaciones. Finalmente se encuentran los centros de transformación que satisfacen la demanda final [25].

#### 2.4.7 Modelos energéticos establecidos según el propósito o el objetivo a cumplir.

La Tabla 5 presenta la información asociada a modelos energéticos utilizados y las categorizaciones las cuales corresponden con el objetivo a cumplir dentro del contexto en el que se desarrolle.

**Tabla 5. Categorías del modelo energético.**

Categorías del modelo energético según el propósito o el objetivo a cumplir.		
<b>Categoría 1</b>	<b>Demanda</b>	Su función principal es el pronóstico de la demanda Ejemplo: MEDEE-S, MAED
<b>Categoría 2</b>	<b>Oferta</b>	Consiste en la proyección o buena planificación de la oferta. Ejemplo: MARKAL, EFOM-ENV, WASP, DECPAC
<b>Categoría 3</b>	<b>Sistema</b>	Se utilizan para analizar el sistema de manera holística, incluyendo la demanda como la oferta y el balance energético. Ejemplo: LEAP, ENPEP, NEMS
	<b>Sub. Categoría de los modelos de sistemas.</b>	
	<b>Con componente de modelado.</b>	Incorporan un análisis económico, con un análisis de sistemas energéticos. Ejemplo: MICRO MELODIE, POLES, PRIMES
	<b>Sin componente de modelado.</b>	Ejemplo: ENPEP, LEAP.
<b>Categoría 4</b>	<b>Energéticos- económicos.</b>	Estos modelos contienen componentes económicas, considerando el equilibrio del precio de la energía con la oferta y la demanda.
	<b>Sub categoría de los modelos energéticos-económicos.</b>	
	<b>Modelos de equilibrio parcial.</b>	Los modelos energético-económicos de precio equilibrado son básicamente utilizados para los análisis políticos, antes que para predicciones de oferta y demanda energética.
	<b>Modelos de equilibrio general.</b>	

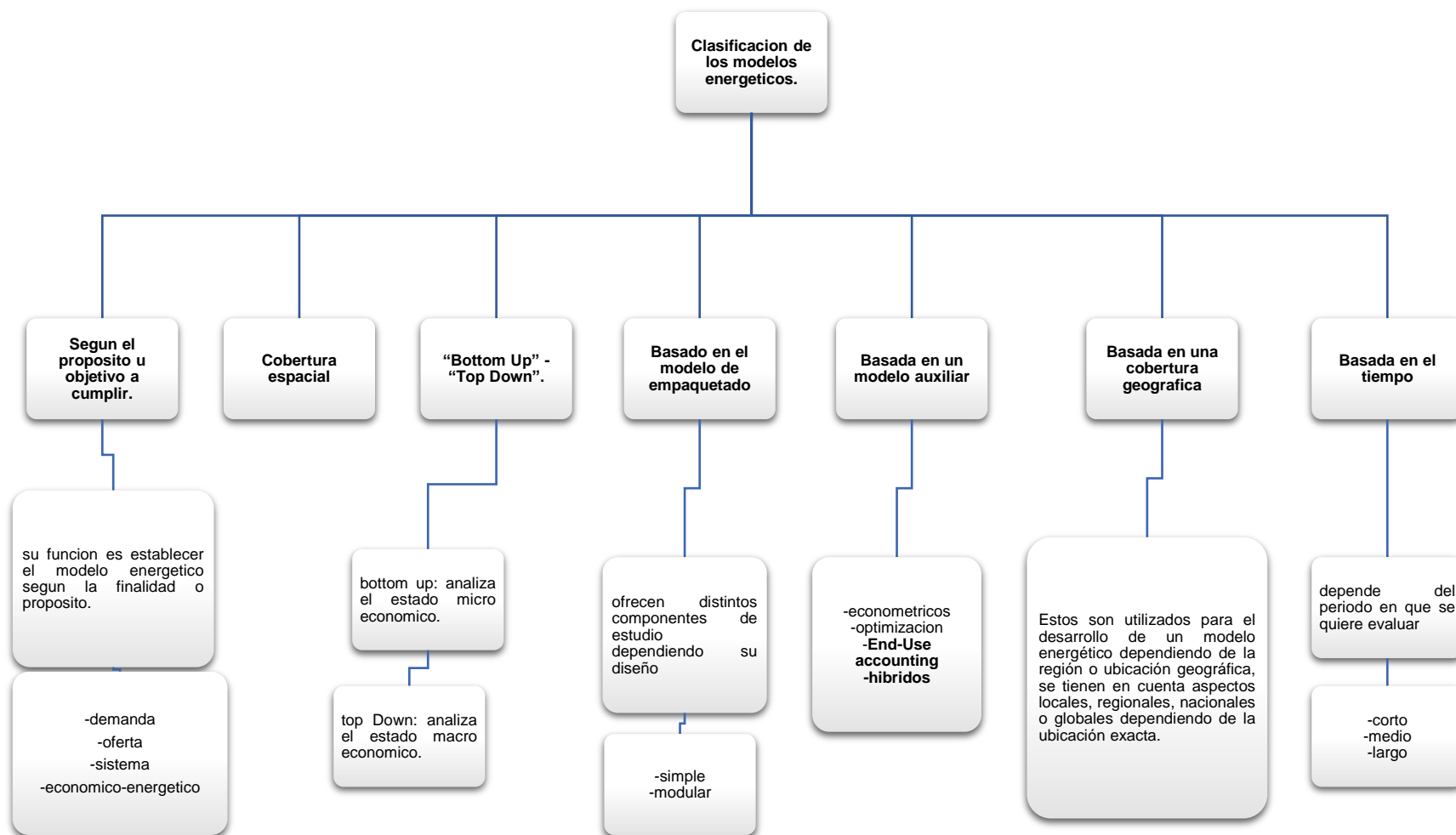
#### 2.4.8 Cuadro comparativo de los principales modelos energéticos

La Tabla 6 presenta la información asociada a los principales modelos energéticos utilizados a nivel mundial.

Tabla 6. Principales modelos energéticos

Modelo	Características	Ventajas	Desventajas
<b>MARKAL</b>	Tipo de modelo: optimización,	Genera modelos de equilibrio energético y económico, calcula cantidades y precios y minimiza los costos totales del sistema, utiliza el esquema del flujo de energía para llegar a la demanda final.	Es un modelo estrictamente energético.
<b>EMPEP</b>	Tipo de modelo: simulación de equilibrio, es un conjunto de herramientas de análisis, energéticas, ambientales y económicas integradas	Realiza análisis macroeconómicos, desarrolla estimaciones de la demanda, responde a cambios de la demanda y de precios de la energía	Analiza la planificación de sistemas desde el mínimo costo, lo cual muchas veces no refleja la realidad, la operación del programa requiere de conocimientos de optimización
<b>LEAP</b>	Tipo de modelo: contabilidad	Tiene un manejo de datos intuitivo y flexible, su operación incluye demanda, análisis de costo beneficio, requiere de información demográfica y socioeconómica.	No genera proceso de optimización o de equilibrio de mercados, no evalúa impactos sobre variables económicas
<b>PERSEUS</b>	Tipo de modelo: análisis y planificación	Utiliza programación lineal, consiste en la minimización del gasto del sistema completo,	Requiere un horizonte de trabajo de mediano y largo plazo.

## 2.4.9 Revisión de modelos energéticos implementados en el mundo



## 2.5 Generación distribuida.

La generación distribuida se define como la manera de generar energía eléctrica a pequeña escala, de una fuente de energía no convencional lo más próximo posible a su fuente de consumo, utilizando unas variantes como son los recursos tecnológicos, y las redes de energía eléctrica que permiten la conexión entre el punto de generación y el punto de consumo, esto con el fin de transferir energía en la red de distribución, colocando al usuario final como ende vital para consumir y generar, recibiendo o cediendo energía a la red mediante tecnologías de almacenamiento de la energía, [6] [7].

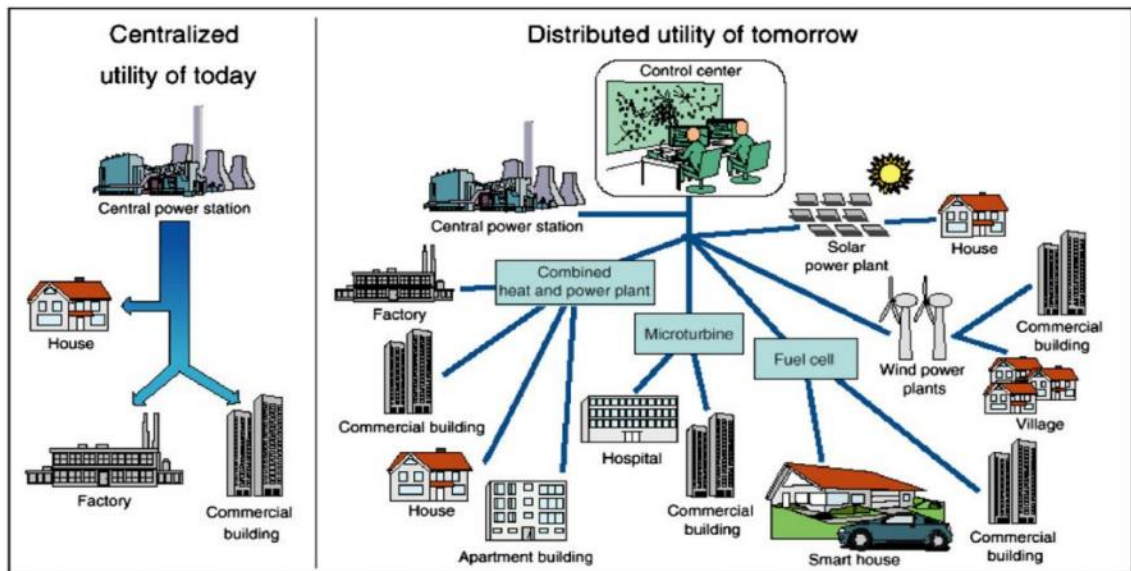


Figura 3. Sistema centralizado vs Generación distribuida<sup>7</sup>.

La generación distribuida puede clasificarse de acuerdo a varios factores claves que van ligados al uso final de la energía generada, su clasificación está basada fundamentalmente en:

### 2.5.1. Generación en Isla

Esta generación es ideal para aquellas poblaciones rurales que sean aisladas siendo Zonas No Interconectadas (ZNI), ya sea por el aislamiento geográfico que inhabilita la implementación de redes eléctricas, cuyos costos de conexión al Sistema Interconectado Nacional (SIN) son muy elevados y la demanda opta por una fuente de energía que de capacidad para abastecer tal población.

---

<sup>7</sup> Fuente: Optimal planning of distributed generation systems in distribution system: A review, 2012





Figura 4. Generación en Isla<sup>8</sup>

### 2.5.2. Generación para carga base

En esta generación ocurre una transferencia de energía del punto de generación a la red de forma bilateral, esto causa de que la red tenga unos estándares elevados de confiabilidad, establezca los niveles de tensión y minimice las pérdidas en la transmisión de energía.



Figura 5. Generación para carga base<sup>9</sup>

---

<sup>8</sup> Imagen obtenida de <http://www.suelosolar.com/newsolares/newsol.asp?id=8917>

<sup>9</sup> Imagen obtenida de <http://todoproduktividad.blogspot.com/p/disenio-de-sistemas-de-generacion.html>

### **2.5.1 Beneficios de la generación distribuida.**

La implementación de generación distribuida en un sistema de interconexión trae consigo muchas ventajas, de tipo ambiental, técnico y económico.

- Beneficios técnicos:

Dentro de los beneficios técnicos que puede llegar a brindar la generación distribuida, se encuentra el respaldo que ésta le transmite al sistema eléctrico en los picos máximos de demanda, minimización de las pérdidas por distancia en las líneas de transmisión, ofrece una estabilidad en los niveles de tensión manejados por los operadores de red. Al tener varios puntos de generación distribuida promete un menor tiempo de restablecimiento al servicio otorgado por los operadores de red, en caso tal de que ocurra un fallo en el sistema de potencia.

- Beneficios ambientales:

El beneficio de trabajar e implementar energía no convencional, mitiga al máximo el efecto invernadero, además la energía que se produce por ser eficaz y limpia trabaja en pro de la mejora al medio ambiente.

- Beneficios económicos:

El beneficio económico cobra una gran importancia, cuando se habla de distancias en las líneas de transmisión de un punto a otro son en gran variedad una gran cantidad de pérdidas, es aquí donde resultan factibles los ahorros tanto eléctricos como económicos que se generan a partir de la generación distribuida.

### **2.5.2 Desventajas de la Generación Distribuida.**

La implementación de la generación distribuida al Sistema Interconectado Nacional (SIN) se ha visto impedida debido a diversos factores, esto causa que el desarrollo de la Generación Distribuida sea atrasada y pueda lograr un impacto mayor en el medio ambiente, varias de las razones por las que esto ocurre son las siguientes:

- Las tecnologías con energía solar, alcanza a producir electricidad en corriente directa (DC), por lo tanto para que pueda ser utilizada con fines de transferencia de energía a la red, tendrá que hacer uso de convertidores DC-AC lo que ocasiona, por ser un elemento electrónico, difundir armónicos a la red eléctrica.



- Hablar de generación distribuida, implica que entre las ventajas está que se pueda ingresar energía a la red o en su defecto recibir energía de la misma, esto se traduce como flujo bidireccional, que tiene como consecuencia fabricar nuevos elementos de protección y medición que no son de uso común.
- En el sistema actual regulatorio regido por la Comisión Regulatoria de Energía y Gas (CREG), se origina una problemática en la cual no se le remunera económicamente de forma satisfactoria al usuario o entidad privada que le ceda a la red el excedente de energía que produce, ya que utilizando energía de la red deberá pagar el doble de lo que le reconocen por entregar energía a la red.
- Por ser un proyecto cuyo origen es reciente y se encuentra en desarrollo, implica una alta tasa de inversión monetaria.

### **2.5.3 Instrumento Regulatorio de Medición Neta.**

Si bien es cierto que la Generación Distribuida despliega múltiples ventajas, no se podría llegar a implementar sin antes incursionar en el Marco Regulatorio que lo rige, en este caso, el Marco Regulatorio Colombiano dirigido por la Comisión Regulatoria de Energía y Gas (CREG). Existe un método que al implementarlo ha sido exitoso en otros países como Estados Unidos, Canadá, Dinamarca e Italia, este método o instrumento regulatorio ha sido llamado Medición Neta.

La Medición Neta no es más que aquel instrumento regulatorio que permite la participación del usuario residencial, comercial o industrial, que hagan uso de la Generación Distribuida, recibir incentivos monetarios cuando se decida entregar energía excedente a la red, y retirar energía cuando sus gastos sean mayores que la producción [8] [9].

Esto sucede siempre y cuando se cuente con una tecnología de medición bi-direccional, siendo en su totalidad de función electrónica la cual podrá tener la capacidad de censar de forma independiente la energía eléctrica recibida y entregada a la red.

Actualmente en Colombia no está establecida la Medición Neta para la generación Distribuida dentro del Marco Regulatorio regido por los entes pertinentes, y todo esto debido a que es restringida por el modelo convencional que tiene el mercado Colombiano en el presente, donde se basa en la Generación Centralizada, por el cual todo Kwh que sea negociado en la red tiene la obligación de pagar cargos de Generación, Transmisión y Distribución (G+T+D). Si se llegase a vender energía al

sistema esta solo sería remunerada con el precio que tiene el componente de la Generación en la tarifa plena. Para el mercado actual colombiano y las regulaciones a la que se encuentran sometidas, las plantas de Generación con capacidad superior a 5 MW son eficientes en comparación con las de menor escala, la cual no permite apreciar el ahorro de energía y los ahorros de la transmisión a grandes distancias si se encuentra cerca del lugar de consumo.

Por lo anterior dicho, si la Regulación vigente no entra en un proceso de modificación para implementar la medición neta, no es viable desde ningún punto de vista la Generación Distribuida.

## **2.6 Elementos requeridos para un Sistema de Alerta Temprana SAT.**

### **2.6.1 Elementos principales.**

Lo primordial de un Sistema de Alerta Temprana, es concientizar a la población de cómo reaccionar ante un inminente peligro, siguiendo unas determinadas pautas, se es capaz de mitigar los riesgos que pueden producir pérdidas humanas, o daños colaterales al medio ambiente [10].

Para mitigar estos riesgos, es vital contar con cuatro elementos que hacen que un Sistema de Alerta Temprana sea completo y eficaz, estos elementos constan en el conocimiento de riesgos como primera medida, el servicio de alerta, difusión y comunicación, y capacidad de respuesta que el individuo pueda asimilar [10].

#### **2.6.1.1 Conocimiento de los riesgos.**

Existen múltiples factores que se involucran en la definición de un riesgo, entre ellos se encuentran la posibilidad de un riesgo geológico, la posibilidad de un brusco y repentino cambio climático, entre muchos otros. Entre mayor sea la vulnerabilidad mayor es el riesgo<sup>10</sup>, esto significa que para minimizar esa vulnerabilidad al 100% se necesitan de métodos diseñados específicamente para ese fin, entre los cuales se encuentran los mapas de riesgos, que despliegan múltiples beneficios como, guía para la prevención de desastre y capacidad de respuesta ante el mismo y definir las preferencias que se van a desarrollar para los Sistemas de Alerta Temprana SAT [10].

#### **2.6.1.2 Servicio de seguimiento y alerta.**

El servicio de seguimiento y alerta son una pieza fundamental que conforman el rompecabezas en lo que respecta a un Sistema de Alerta Temprana. Es vital

---

<sup>10</sup> Definición obtenida de <http://es.wikipedia.org/wiki/Riesgo>

contar con equipos tecnológicos que brinden datos específicos, en los cuales tendrían gran importancia al momento de prevenir amenazas y entregar un pronóstico con exactitud. Sin esta pieza fundamental, sería imposible poder lograr el fin de un Sistema de Alerta Temprana, que corresponde a evitar catástrofes de toda índole.

#### 2.6.1.3 Difusión y Comunicación

Existe una amplia diversidad de maneras al momento de comunicar una información, cual sea que sea seleccionada para que sea la portadora de llevar la advertencia a la comunidad de un inminente peligro, debe ser eficaz y rápida para poder llegar con claridad al receptor, que en este caso, se hace referencia a las personas que se encuentran implicadas ante un posible riesgo.

#### 2.6.1.4 Capacidad de respuesta.

Ante un eventual riesgo, es de gran importancia capacitar a la comunidad para evaluar la rapidez con que pueden evacuar ante el peligro, contar con un programa de Gestión de Riesgos que desarrolle simulacros con el objetivo de que la persona sea apta para que saber cómo reaccionar al momento de seguir las pautas desde que se emite la señal de alerta por las autoridades competentes.

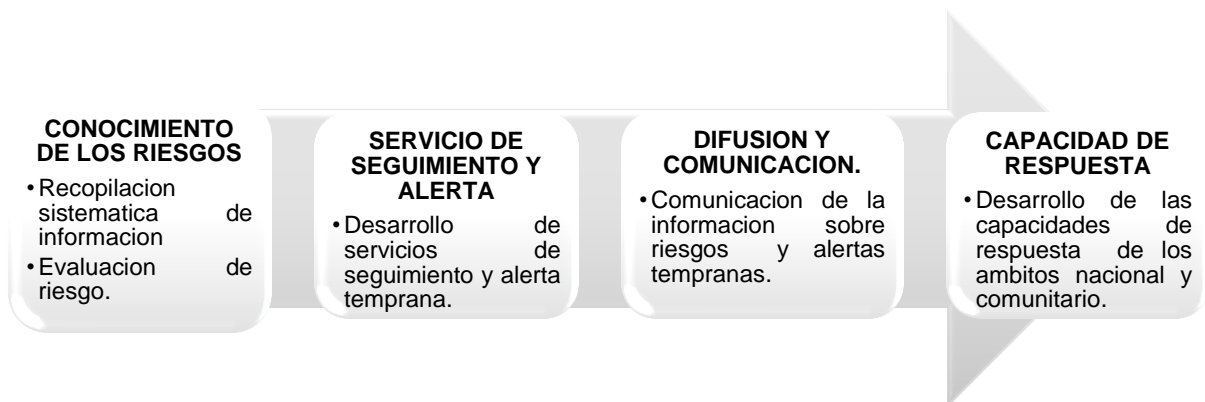


Figura 6. Cuatro elementos principales de los SAT centrados en la población<sup>11</sup>.

#### 2.6.2 Implementos requeridos para un Sistema de Alerta Temprana.

La medición de la lluvia tiene como principal prioridad recolectar datos específicos durante un determinado tiempo sobre las condiciones hidrológicas, para

<sup>11</sup> Fuente: Plataforma para la Promoción de Alerta Temprana de la EIRD/ONU

posteriormente ser analizados por las autoridades competentes, con el fin de prevenir a la comunidad de daños materiales o la pérdida de vidas humanas causadas por las condiciones climatológicas, haciendo referencia en el presente contexto a las inundaciones [11].

La recolección de datos se realiza mediante la aplicación de dispositivos de medición llamados pluviómetros y escalas hidrométricas. Los pluviómetros proporcionan información del volumen de agua que ya se encuentra en el suelo y las escalas hidrométricas proporcionan información sobre el crecimiento del nivel de agua.



Figura 7. Pluviómetro digital con sensor integrado.<sup>12</sup>



Figura 8. Escala Hidrométrica.<sup>13</sup>

## 2.7 Confiabilidad.

Es la probabilidad que un dispositivo realice satisfactoriamente su función específica durante un período de tiempo específico y bajo un conjunto dado de

---

<sup>12</sup> Imagen obtenida de <http://www.technidea.com.ar/pluviometro-digital-con-sensor-y-alarmas-y-temperaturas-1413.html>

<sup>13</sup> Imagen obtenida de <http://www.okacom.org/imagenes/staff-gauge-at-mohembo-botswana/view>

condiciones operativas. Un elemento no confiable, puede considerarse un elemento de mala calidad; confiabilidad es calidad en el tiempo.

Al hacer un análisis de confiabilidad se deben evaluar las etapas del sistema, pero ante todo se debe conocer el diseño o configuración de este, ya sea paralelo o en serie, dado que su comportamiento es diferente. Y pueden variar entre más complejos, o más sencillos según sea su configuración.

Existen distintos procedimientos para determinar la confiabilidad de un sistema o proyecto, en muchos de ellos se analizan variables en relación al tiempo, tal es el caso del MTBF y el MTTR, otros trabajan la confiabilidad desde el factor de mantenimiento como es el caso del RCM, pero todos con el mismo fin de conseguir que el diseño de un sistema sea lo más confiable posible. A continuación conoceremos un poco más de las variables antes mencionados para dar a conocer la confiabilidad de un sistema [14].

**MTBF** es el abreviado de las palabras inglesas “*Medium Time Between Failures*”, traducido al español, tiempo medio entre fallos. El **MTBF** es el tiempo medio entre cada ocurrencia de una parada específica por fallo (o avería) de un proceso, o en otras palabras, la inversa de la frecuencia con que ocurre cada parada.

**MTTR** es el abreviado de las palabras inglesas “*Medium Time To Repair*”, que traducido al español se refiere al tiempo medio hasta haber reparado la avería.

El MTBF y el MTTR son variables que nos ayudaran a identificar unos datos o ítems, los cuales a partir de ellos podemos determinar la confiabilidad de un sistema, tal es el caso del modelo diseñado por el ingeniero Rodolfo Bejar, para el cálculo de la confiabilidad, en donde se tienen en cuenta estas variables, y además de eso se basa en la ecuación, que presenta el Ingeniero Lou rival Augusto Tavares para el cálculo de la confiabilidad [18].

#### **Desarrollo de la ecuación para el cálculo de la confiabilidad:**

$$R = f(MTBF \times MTTR) \quad \text{Ec. 1}$$

**Dónde:**

*R: Confiabilidad.*

*MTBF: Tiempo Medio Entre Fallas.*

*MTTR: Tiempo Medio Para Reparación.*

Relacionando variables:

$$R = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} \quad \text{Ec. 2}$$

Esta ecuación es la probabilidad según Laplace, en donde el número de aciertos en este caso pertenece a MTBF, sobre el número total de eventos (tiempo total que funciona el activo más el tiempo que estuvo parado para reparaciones). Este es el cálculo básico para determinar la confiabilidad de un sistema.

### 2.7.1 Cálculo del MTBF y el MTTR.

Para calcular el MTBF, utilizamos la siguiente ecuación.

$$MTBF = \frac{h_t}{p} \times 100 \quad \text{Ec. 3}$$

Para calcular el MTTR, utilizamos la siguiente ecuación

$$MTTR = \left[ \frac{h_p}{p} \right]$$

**Dónde.**

**HT:** Horas trabajadas o de marcha durante el período de evaluación.

**p:** Número de paros durante el período de evaluación.

**Hp:** Horas de paro durante el período de evaluación.

### 2.7.2 Sistema en serie

Los sistemas en serie son un claro ejemplo de un circuito serie eléctrico, son idénticos en funcionamiento y estructuración, y son muy útiles al momento de emplear un modelo económico energético, porque brinda la posibilidad de hacer un análisis específico de cada elemento que compone el sistema, y de esta manera al momento de presentarse una falla se podrá determinar fácilmente el lugar donde esta ocurrió. Cada elemento en esta configuración serie, depende de cada elemento anterior, si un elemento falla el siguiente también fallará, y por consecuencia todo el sistema se verá afectado.



La confiabilidad del sistema está dada por:

$$R_s = Cf_1 \times Cf_2 \times Cf_3 \times Cf_4 \quad \text{Ec. 4}$$

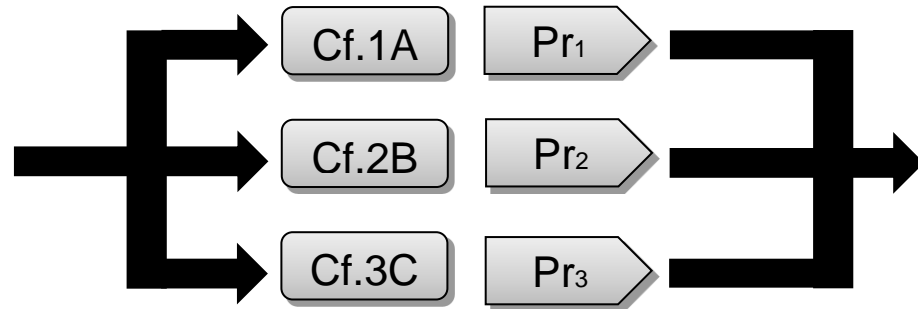
**Dónde:**

**Cf1, Cf2,....., Cfn:** son las confiabilidades de cada ítem.

De la expresión anterior, se concluye que la confiabilidad del sistema es el producto de las confiabilidades individuales de sus componentes.

### 2.7.3 Sistema en paralelo

Según Lou rival Tavares: “La confiabilidad final de un conjunto de equipos, será obtenida por la suma de los productos de las confiabilidades de cada ítem por sus capacidades de producción, dividido por la suma de las capacidades de producción de esos ítems”



Según la definición anterior, la confiabilidad de un sistema en paralelo está dada por:

$$R_s = \left[ \frac{(Cf_1 \times Pr_1) + (Cf_2 \times Pr_2) + (Cf_3 \times Pr_3)}{Pr_1 + Pr_2 + Pr_3} \right] \quad \text{Ec. 5}$$

**Dónde:**

**Cf1, Cf2,....., Cfn:** son las confiabilidades de cada uno de los equipos.

**Pr1, Pr2,....., Prn:** son las participaciones de cada uno de los equipos en la producción del sistema evaluado.

## **2.8 Evaluación de la factibilidad del suministro de energía convencional / no convencional.**

En primera instancia se toma como referencia la energía convencional que es suministrada a través del operador de red mediante los circuitos de distribución a 13,2Kv; desde la perspectiva de que este tipo de suministro de energía se vea propenso a presentar determinadas cantidades de fallas por descargas atmosféricas a causa de no poseer cables de guarda para la protección del sistema. De acuerdo a la anterior problemática se calcula la probabilidad de caída de un rayo en la red de distribución, esto en base al nivel cerámico presentado en la región caribe y la densidad de descargas a tierra.

Para lo anterior dicho, se abarcara la definición del nivel cerámico y la densidad de descargas a tierra de una forma más amplia.

El nivel Cerámico (NC) es una medición a partir de la observación con el objetivo inicial de determinar el estado del clima. El nivel Cerámico se define como el número promedio de días al año en los que se presentan tormentas eléctricas. En la práctica se mide como el número de días al año en los que se escuchan descargas atmosféricas. Este es utilizado como referencias para diseños previos. Sin embargo, para los procesos de diseño de apantallamiento se recomienda información más concreta del área [26]

Una descarga atmosférica o “lightning” es un fenómeno meteorológico natural basado en una descarga eléctrica generado por un pulso electromagnético al interior de un condensador natural y que se propaga a través de un material dieléctrico como el aire para el caso de las descargas atmosféricas naturales, en este caso entre la superficie de la tierra y la electrosfera [15]

En segunda instancia, debido a la problemática que representa el optar por la energía convencional por lo anterior previamente dicho, se sugiere que el presente proyecto se incline por seleccionar una fuente de energía no convencional para el sustento energético de los equipos que conforman el Sistema de Alerta Temprana SAT por las siguientes razones:

1. Hacer uso de la red implicaría realización de trámites respectivos con el operador de red para abastecer los equipos colocados en el poste.
2. Para la transformación de la tensión de 13,2 Kv de la red a los equipos situados en el poste, se necesitaría hacer uso de un transformador que suministre el operador de red o hacer uso de un convertidor AC/DC para la tensión nominal de los equipos.



3. La utilización de la red implicaría gastos económicos en la adquisición de esta misma lo cual causaría mayores gastos en el desarrollo del proyecto

Para evaluar el riesgo de falla de la red sin apantallamiento se considera un nivel ceraúnico de la zona de 60 días tormentosos por año y para este caso no se dispondrá de un cable de guarda la red tendrá un nivel de exposición del 100%, se calcula la densidad de rayos a tierra GFD en el circuito correspondiente a donde se colocara los equipos del SAT, a su vez se calculara el números de descargas en el tramo del circuito empleado la siguiente ecuación:

$$N_s = GFD \cdot A / 1000^2, \text{descargas/año} \quad \text{Ec. 6}$$

**Dónde:**

GFD: densidad de rayos a tierra, descargas/año/km<sup>2</sup>

A: Área del tramo del circuito

Luego calculamos el número de descargas por año que penetran el circuito sin apantallamiento SP, empleando la siguiente ecuación:

$$SP = N_s P_e, \text{descargas/año} \quad \text{Ec. 7}$$

**Dónde:**

$P_e$ : Nivel de exposición seleccionado en el diseño.

Posteriormente se calcula el número de años en el que una descarga penetra la red eléctrica, empleando la siguiente ecuación:

$$N_f = \frac{1}{SP}, \text{años/descarga} \quad \text{Ec. 8}$$

Desarrollando las pautas anteriormente mencionadas, se utilizaran para los puntos donde se colocaran los equipos del SAT respectivamente.

## 2.9 Funcionamiento del panel solar

Dando lugar a otro punto a desarrollar en este ítem, tenemos la energía no convencional. Esta energía renovable se ha venido ampliando y profundizando desde hace unas décadas, para poder entender el beneficio económico-energético que conlleva la utilización de este, se llevara a cabo una breve explicación de la

composición, el desempeño operativo y en condiciones ambientales que maneja un sistema fotovoltaico.

La energía solar fotovoltaica no es más que conversión directa de la luz solar en electricidad, mediante un dispositivo electrónico denominado "célula solar"; estas células se interconectan y agrupan en módulos que pueden generar 0,9Kwh/día m<sup>2</sup> (aprox. 1,5m<sup>2</sup> un módulo).

Esta conversión de la energía de luz en energía eléctrica es un fenómeno físico conocido como efecto fotovoltaico. La radiación solar es captada por los módulos fotovoltaicos, entonces estos generan energía eléctrica en forma de corriente continua. [16]

Un sistema fotovoltaico está formado por un conjunto de equipos contruidos e integrados especialmente para realizar cuatro funciones fundamentales:

- Transformar directa y eficientemente la energía solar en energía eléctrica.
- Almacenar adecuadamente la energía eléctrica generada.
- Proveer adecuadamente la energía producida (el consumo) y almacenada.
- Utilizar eficientemente la energía producida y almacenada

En el mismo orden antes mencionado, los componentes fotovoltaicos encargados de realizar las funciones respectivas son:

- El módulo o panel fotovoltaico.
- La batería.
- El regulador de carga.
- El inversor (si es necesario).
- Las cargas de aplicación (el consumo)

La capacidad energética nominal de los módulos fotovoltaicos se indica en vatios-pico (Wp), lo cual indica la capacidad de generar electricidad en condiciones óptimas de operación. La capacidad real de un módulo fotovoltaico difiere considerablemente de su capacidad nominal, debido a que bajo condiciones reales de operación la cantidad de radiación que incide sobre las celdas es menor que bajo condiciones óptimas. Por ejemplo, un módulo de 55 Wp es capaz de producir 55 W más o menos un 10 % de tolerancia cuando recibe una radiación solar de 1.000 vatios por metro cuadrado (W/m<sup>2</sup>) y sus celdas poseen una temperatura de 25 °C. En condiciones reales, este mismo módulo produciría una potencia mucho menor que 55 W.

La energía producida por un sistema fotovoltaico es su principal factor de mérito y el objetivo final de cualquier diseño e instalación. Sin embargo, resulta imposible

dar una cifra universal por cuanto la generación depende de la insolación disponible, de la temperatura y de otras particularidades de la ubicación.

En general, y para una tecnología fotovoltaica convencional se puede estimar la producción anual de un sistema como el producto de la radiación total efectiva sobre el plano de los paneles por la potencia pico instalada y por un tercer factor, llamado Performance Ratio (PR), que suele valer entre 0.7 y 0.8.

### CAPITULO III. METODOLOGÍA

El presente proyecto tiene como propósito evaluar el consumo energético de los equipos y/o dispositivos electrónicos a utilizar, para determinar la factibilidad de optar por el uso de la red eléctrica a través de un operador de red, o hacer uso de una fuente no convencional de energía para establecer un modelo energético que se adapte a los requerimientos definidos para el sistema de alertas tempranas.

Dentro de esta sección se encuentran los parámetros de desarrollo del modelo económico energético propuesto, divididos en 4 etapas de desarrollo las cuales conforman el **“MODELO ECONOMICO ENERGETICO PARA UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA (MEESAT) PARA LOS ARROYOS DE BARRANQUILLA”**.

MEESAT es un modelo económico energético que se encuentra dentro de la clasificación de los modelos híbridos, su origen parte del profundo análisis realizado de los modelos existentes en el mundo, dentro de este análisis y teniendo por conocimiento que la problemática de los arroyos de barranquilla es única en el mundo, se determina, que no existe un modelo exacto que pueda ser implementado dentro del presente proyecto, por tal razón se opta la selección de un modelo hibrido que pueda cumplir con todos los requerimientos necesarios planteados en el sistema de alertas tempranas (SAT). La implementación de un modelo hibrido contempla la selección de los principales elementos dentro de otros modelos establecidos, los cuales son de aplicación dentro del SAT.

La descripción de cada uno de los requerimientos seleccionados para la conformación de MEESAT se encuentran descritos en el presente capitulo, así como las 4 etapas de desarrollo del modelo.

Para facilitar el estudio del modelo y la ubicación de cada punto de conexión, se hará referencia a cada punto de ubicación de la siguiente manera:

Tabla 7. Relación de ubicación de puntos de conexión.

Ubicación de los Puntos de conexión	
Punto de conexión # 1	calle 65 # 38 – 69
Punto de conexión # 2	Calle 62 # 46 – 102
Punto de conexión # 3	Calle 59 # 53 esquina.

### 3.1 Criterios seleccionados para el diseño de MEESAT.

Basado en la información recopilada y en el contexto del marco teórico, MEESAT toma como referencia metodológica las características principales dentro de los modelos descritos, MEESAT apunta a ser un modelo hibrido exclusivo implementado únicamente en el sistema de alertas tempranas para la detección de los arroyos de Barranquilla. De acuerdo a lo anterior se procede a caracterizar a MEESAT, donde se tomaron las metodologías aplicables de cada modelo para adaptarlas el presente proyecto, a continuación serán descritas las metodologías referenciadas.

#### 3.1.1 Metodologías implementadas en MEESAT

Las metodologías que utiliza el modelo propuesto se encuentran dentro de los siguientes modelos descritos, los cuales conforman el hibrido. Estas son:

- **Bottom UP:** se selecciona dentro del modelo dado que detallar cada componente del sistema donde se esté implementando, la caracterización es un componente fundamental de este modelo, así como el estudio del consumo energético. Este modelo es aplicable a proyectos de pequeña escala. Como objetivo de estudio planteado se ofrece determinar el consumo energético de cada elemento instalado en el SAT, el Bottom UP cumple con los requerimientos necesarios, por tal razón se toma como metodología aplicativa de este modelo el estudio de caracterización y consumo energético, para ser introducidos dentro de la metodología de MEESAT.
- **Según el propósito: MEESAT** se encuentra inmerso como un modelo que estudia un sistema, la principal característica del modelo propuesto sugiere el estudio del consumo energético del sistema de alertas tempranas (SAT), teniendo en cuenta la oferta y la demanda.

- **Econométrico:** se toma como referencia para la inclusión al modelo MEESAT el análisis econométrico, el cual brinda el estudio necesario requerido para hacer un análisis de oferta- demanda que permita establecer parámetros como proyección de demanda, retorno de inversión, datos estadísticos, entre otros.
- **MARKAL:** este modelo es implementado en la mayoría de los casos para el análisis de sistemas eléctricos, sistemas de optimización, de este modelo se toma como aporte a MEESAT el diseño del esquema de flujo que permita reconocer visiblemente el funcionamiento del sistema.
- **LEAP:** este modelo es utilizado principalmente en el estudio de sistemas contables, se toma como referencia del modelo LEAP el diagrama de procesos.
- **Otros:** la categoría de otros, hacer referencia a todos los requerimientos que necesita MEESAT para su funcionamiento y que no se encuentran inmersos en ningún otro modelo existente en el mundo, por tal motivo y teniendo en cuenta que el modelo propuesto es el compendio de la recopilación de las características más importantes de otros modelos, es decir un híbrido, se integraron al modelos los requerimientos restantes en esta categoría como lo son: Análisis de confiabilidad, seguridad, valoración por punto de ubicación en referencia a la factibilidad de conexión energética de la red convencional. Lo anteriormente descrito es el reflejo teórico del diseño del modelo propuesto MEESAT, este modelo logra reunir todos los requerimientos necesarios para suplir las necesidades propuestas, se encuentra establecido en el siguiente mapa conceptual que ilustra la estructura y conformación, se debe tener en cuenta que el diseño principal de MEESAT es en consideración un híbrido, que no tiene aplicación en el mundo, debido a la exclusiva necesidad presente de los arroyos en la ciudad de barranquilla.

## DISEÑO DEL MODELO ECONOMICO ENERGETICO PARA UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA (MEESAT) PARA LOS ARROYOS DE BARRANQUILLA.

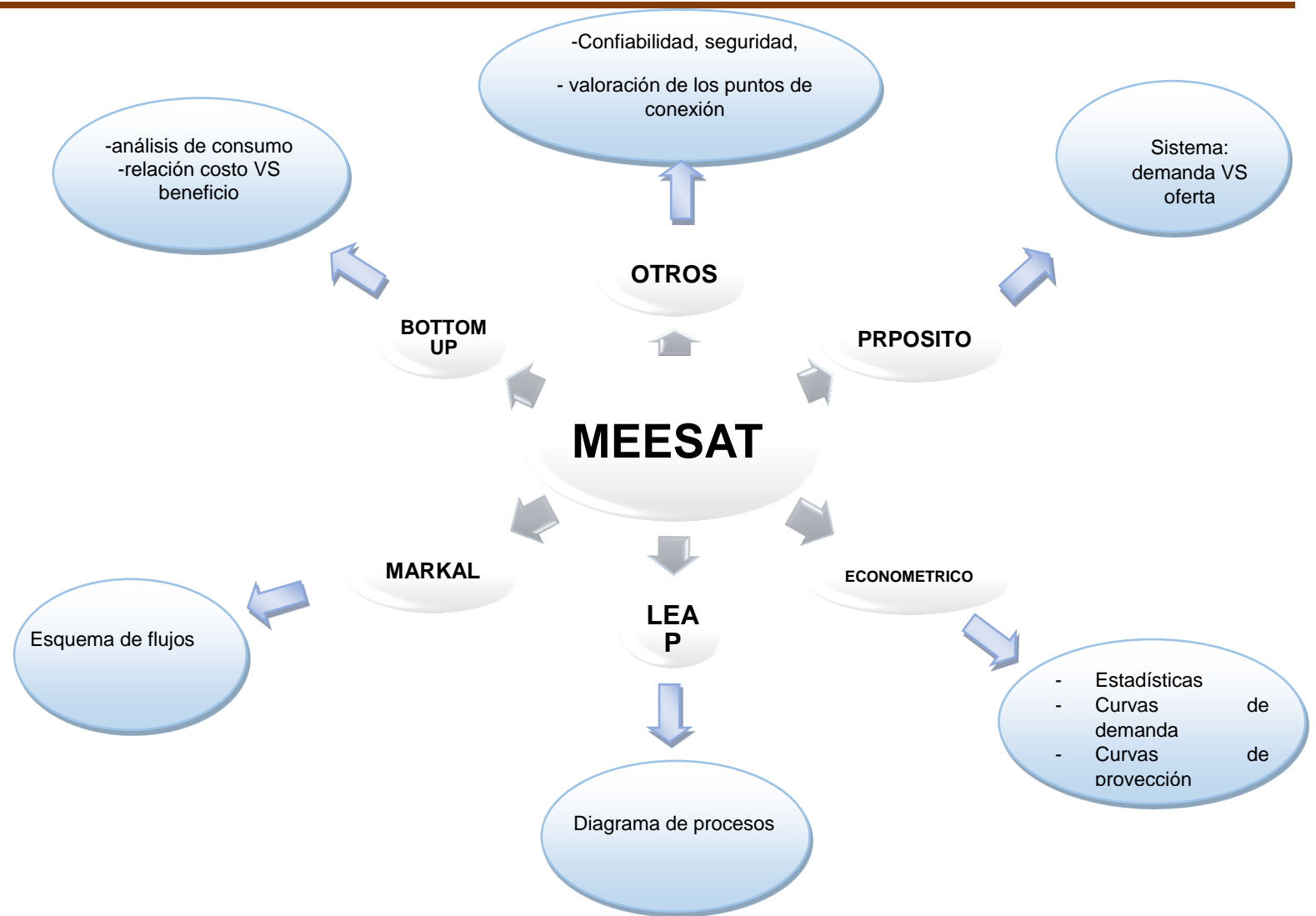


Figura 9. Estructuración de criterios para selección de modelo híbrido

### **3.2 Etapas del Desarrollo del Modelo:**

MEESAT está conformado de 4 etapas que garantizan el completo desarrollo de los objetivos propuestos, estas etapas son: Factibilidad del Suministro de energía, Análisis, Caracterización Energética, diseño.

#### **3.2.1 Etapa 1. Factibilidad del suministro de energía.**

Esta etapa tiene como prioridad, valorar cada punto de ubicación de los equipos en referencia a la elección del suministro de energía. Dentro de esta etapa se exponen los criterios necesarios para la conexión de acuerdo al sistema de distribución local de ELECTRICARIBE SA E.S.P. y de acuerdo a los parámetros tenidos en cuenta para el uso de fuentes renovables de energía. A continuación se relacionan los criterios para garantizar la factibilidad de suministro:

- Criterios de ELECTRICARIBE S.A. E.S.P. para la gestión de la solicitud del nuevo suministro.
- Diagrama de conexión.
- Datos de cortocircuito de los distintos puntos de conexión por circuito de la red convencional de energía.
- Datos de S, P, Q de cada circuito asociado al punto de conexión.
- Estudio del perfil de tensión.
- Cargabilidad del circuito y de la subestación más cercana al punto de conexión.
- Estudio de descargas atmosféricas.

**Criterios a tener en cuenta de acuerdo a la implementación de Fuentes renovables de energía:**

- Estudio de radiación solar de la ciudad de barranquilla.
- Porcentajes de pérdida de un panel solar.
- Operación de mantenimiento del sistema fotovoltaico.

#### **3.2.2 Etapa 2. Análisis.**

Dentro de la etapa de análisis se encuentra dos factores de estudio que son fundamental para el desarrollo del modelo, por medio de ellos se brinda la garantía del buen funcionamiento del sistema.

- **Análisis de Confiabilidad:** Al momento de realizar este análisis, se quiere determinar qué tan confiable es el sistema de alertas tempranas

SAT presentado por la Universidad de la Costa (CUC), como alternativa de solución al problema de los arroyos de barranquilla, este análisis contempla el mantenimiento de los equipos, mediante el diseño de un formato que facilite la obtención de un porcentaje de confiabilidad para determinar qué tan confiable es el sistema.

- **Análisis de Seguridad:** la seguridad es un factor importante dentro del buen desarrollo de un sistema, mediante ella se garantiza la operación correcta de cada elemento que es considerado dentro del sistema, el análisis de seguridad se incluyó dentro de MEESAT con el propósito de establecer los índices de seguridad del SAT, dentro de este análisis se establecerá un formato de mantenimiento para contribuir al no deterioro del sistema y garantizar la seguridad del mismo.

### **3.2.3 Etapa 3. Caracterización energética**

El objetivo principal de MEESAT es brindar el estudio de consumo energético del SAT, por esta razón dentro de él, se incluye un estudio de caracterización de cada elemento que compone el proyecto y que es sinónimo de consumo energético. Los puntos a desarrollar son los siguientes:

- Definir las características de cada equipo, por ubicación y del sistema total.
- Informe de consumo total del sistema
- Proyección de la demanda en caso de agregar más elemento al sistema.

### **3.2.4 Etapa 4. Diseño del modelo**

La etapa del diseño del modelo es la culminación del desarrollo de MEESAT, dentro en ella se hace entrega del esquema estructural del modelo planteado por medio de:

- Diagrama de procesos
- Diagrama de flujo



## CAPITULO IV: RESULTADOS

### 4.1 Etapa 1. Factibilidad del suministro de energía.

- Diagrama de conexión.

El diagrama de conexión se realizó para cada punto de ubicación del proyecto, en este caso el sistema de alertas tempranas contempla solo 3 puntos de conexión como parte del proyecto piloto. Entiéndase por punto de conexión, la ubicación donde se encuentran los elementos de medida y monitoreo del arroyo dentro del SAT. El diagrama de conexión determina el punto exacto donde se instalarán los equipos en la red eléctrica de ELECTRICARIBE SA. Para la obtención de los puntos de ubicación se recurrió a la base de datos de incidencias (BDI), el cual es propiedad de Electricaribe y mediante de ella se logró la ubicación de los apoyos o postes que fueron seleccionados en la previa inspección de terreno. Por medio de este programa se obtuvo imágenes del lugar donde se instalarán los equipos, de igual manera se obtuvieron datos característicos de la red en el punto de conexión asignado.

El monitoreo del arroyo en estudio (arroyo de la carrera 65), requiere de la conexión a 3 Circuitos que se encuentran en el recorrido del afluente, los cuales son: circuito silencio, circuito nueva granada y circuito modelo, esto implica al momento del estudio de conexión solicitar 3 datos totalmente distintos de conexión, ya que cada uno tiene impedancias y reactancias diferentes, de igual manera al momento de establecer el número de años en que una descarga atmosférica penetra la red eléctrica, se deben de contemplar 3 distancias distintas para el análisis debido a que cada circuito tiene una distancia diferente.

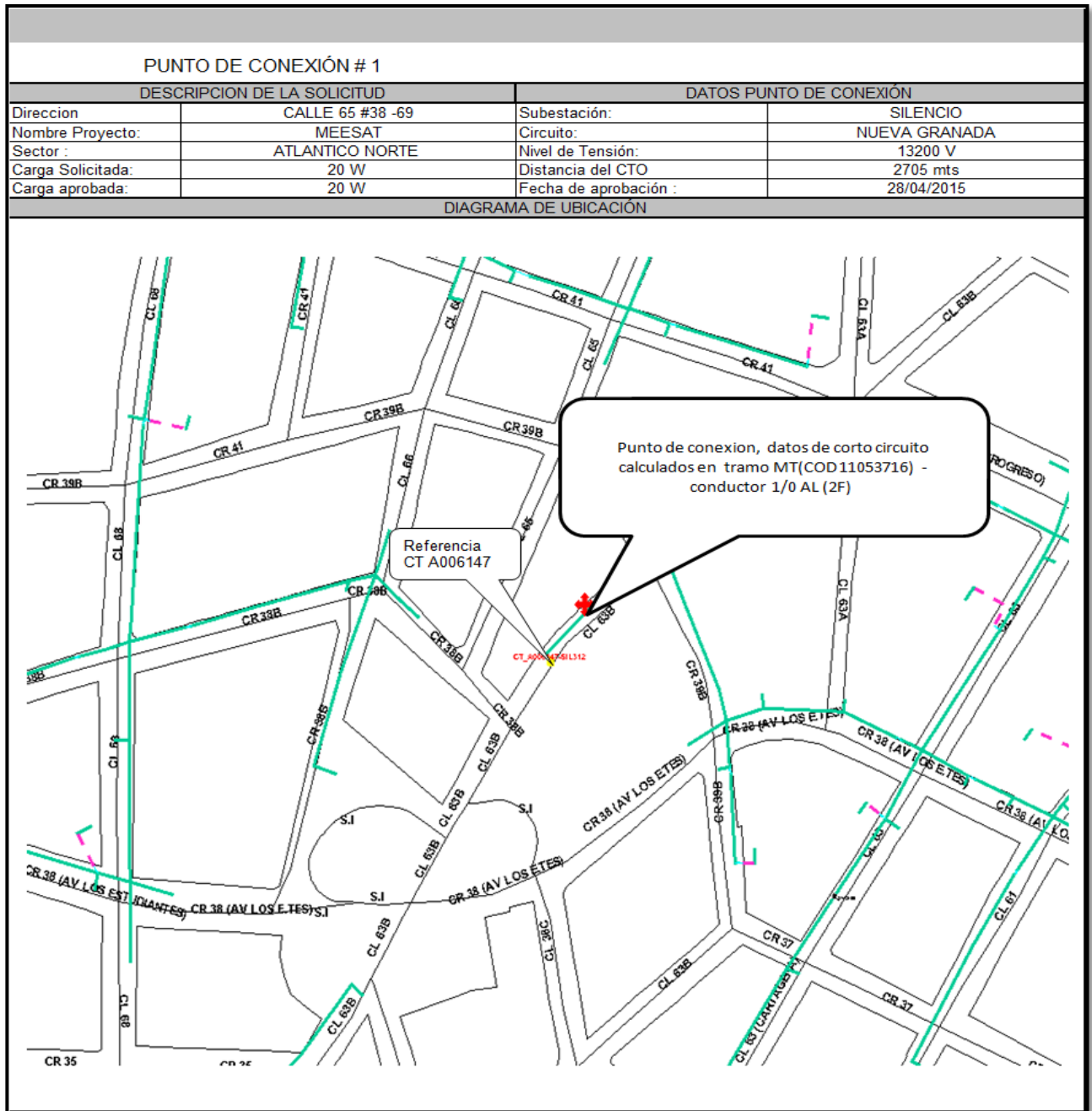
Mediante el diagrama de conexión aportado por la base de datos de incidencias podemos obtener los siguientes datos:

- Circuitos disponibles para la conexión
- Subestación a la que pertenece cada circuito
- Nombre del tramo de conexión y calibre del tramo
- los CT y apoyos que se encuentran cercanos al punto de conexión y que se encuentran libres de elementos de distribución de Electricaribe (transformadores, interruptores, seccionadores, entre otros.)

A continuación los diagramas de conexión con sus respectivas características de acuerdo a cada punto de conexión.

# DISEÑO DEL MODELO ECONOMICO ENERGETICO PARA UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA (MEESAT) PARA LOS ARROYOS DE BARRANQUILLA.

## Punto de conexión # 1



**Figura 10. Punto de conexión #1.**

# DISEÑO DEL MODELO ECONOMICO ENERGETICO PARA UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA (MEESAT) PARA LOS ARROYOS DE BARRANQUILLA.

## Punto de conexión # 2

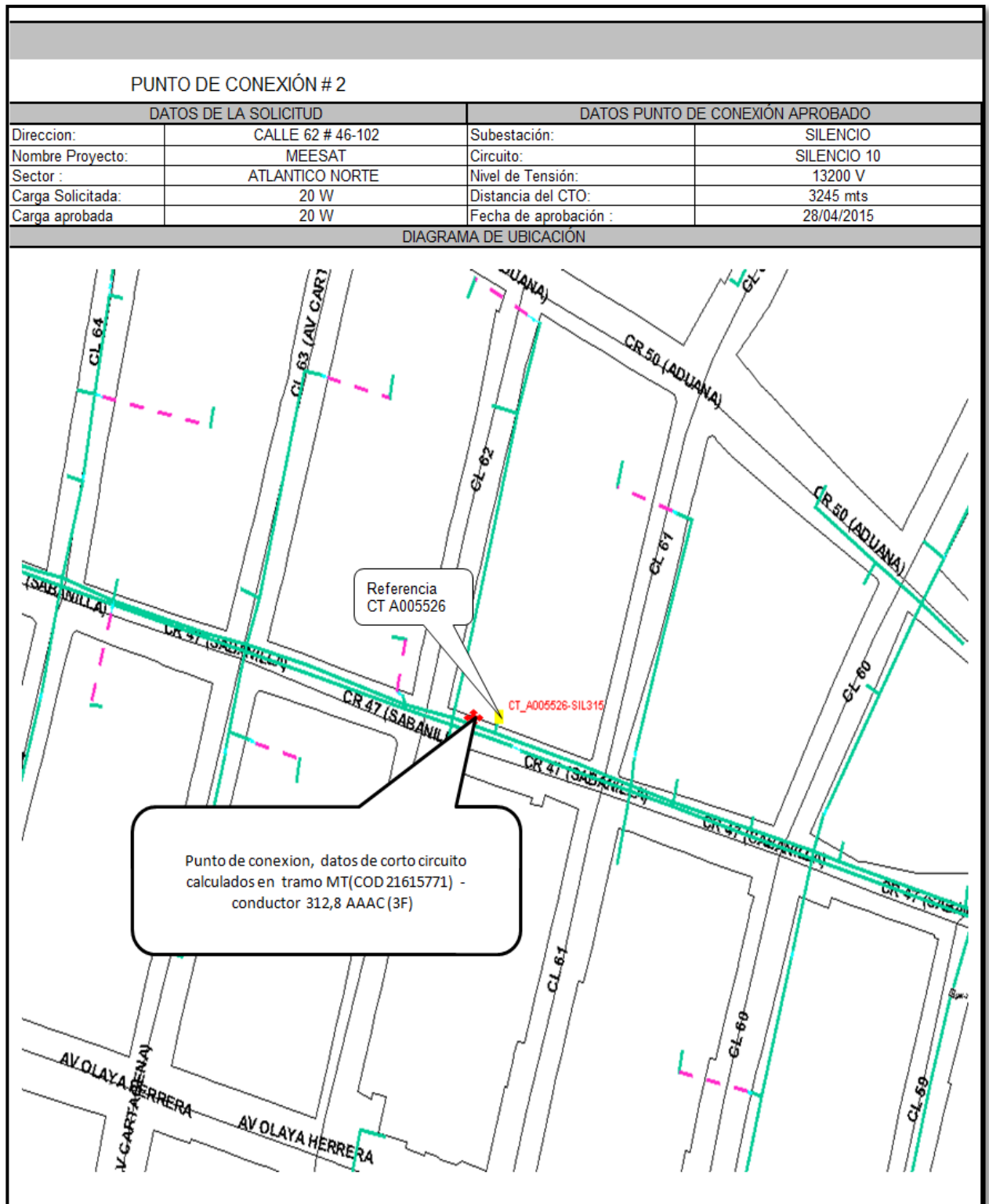


Figura 11. Punto de conexión #2.

# DISEÑO DEL MODELO ECONOMICO ENERGETICO PARA UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA (MEESAT) PARA LOS ARROYOS DE BARRANQUILLA.

## Punto de conexión # 3

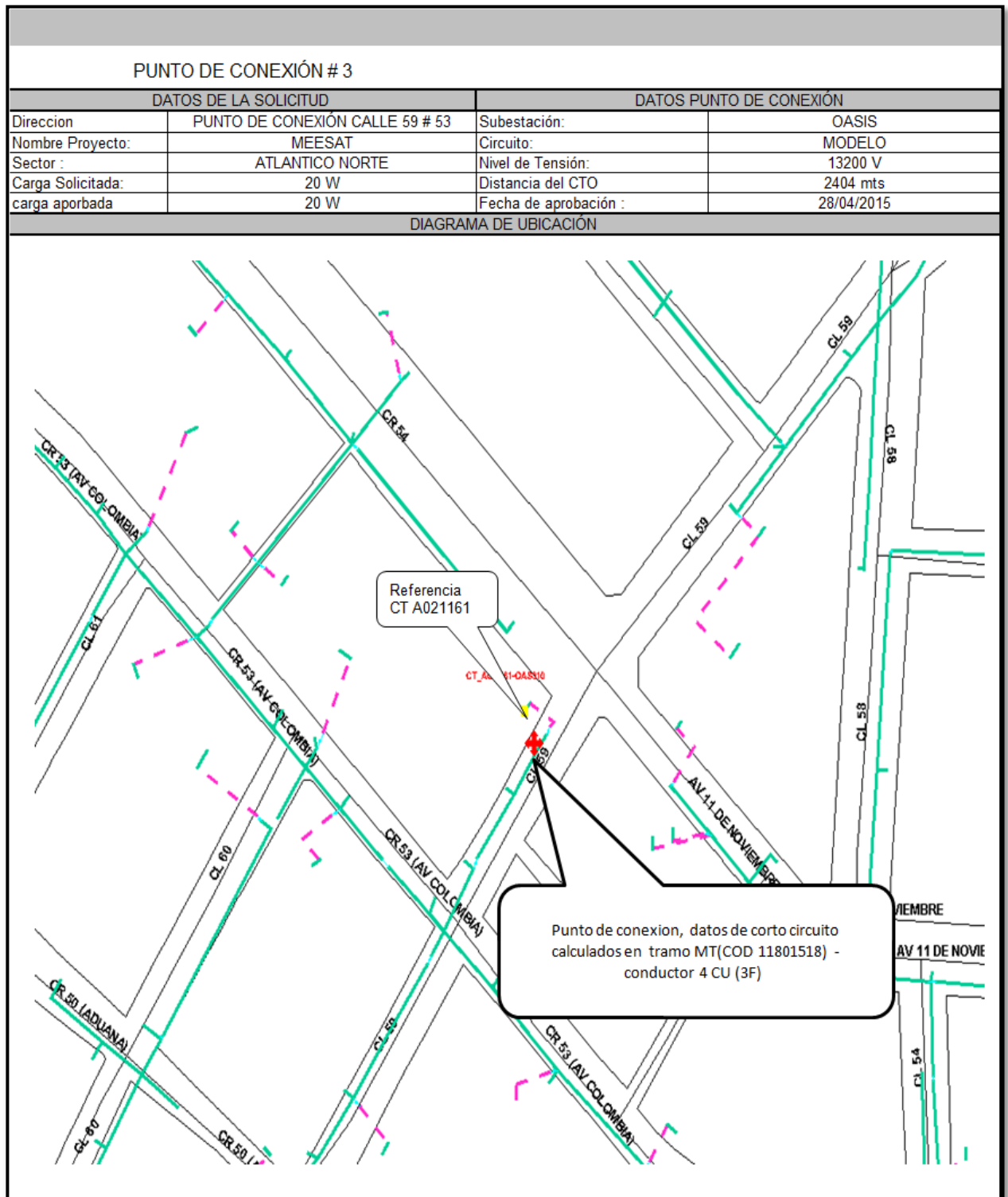


Figura 12. Punto de conexión #3.

- **Datos de cortocircuito de los distintos puntos de conexión por circuito de la red convencional de energía.**

Para el cálculo de los datos de cortocircuito se recurrió al programa **Dig Silent** el cual es propiedad de ELECTRICARIBE, y a través de él se pueden obtener los datos necesarios para el análisis de cortocircuito, estos datos son primordiales al momento de solicitar un nuevo suministro a la empresa, son de suma importancia, ya que sirven para determinar y dimensionar los elementos de protección a utilizar en la aprobación del nuevo suministro. De igual manera sirven para dimensionar los conductores a utilizar y el calibre de la acometida que se requiere. Por medio de estos datos podemos calcular el nivel de impedancia del circuito teniendo en cuenta la resistencia del circuito aportado en los datos de corto y la reactancia que de igual manera es suministrada,

A continuación se suministran los datos de cortocircuito relevantes para la conexión de del proyecto en los puntos de monitoreo asignados

**Tabla 8. Punto de conexión # 1**

DATOS CORTO CIRCUITO			
Trifásico		Monofásico	
Scc (MVA)	141,626	Scc (MVA)	26,735
Icc (kA)	5,925	Icc (kA)	3,356
R (Ohm)	0,581	R0 (Ohm)	1,023
X (Ohm)	1,360	X0 (Ohm)	4,804

**Tabla 9. Punto de conexión # 2**

DATOS CORTO CIRCUITO			
Trifásico		Monofásico	
Scc (MVA)	123,077	Scc (MVA)	22,818
Icc (kA)	5,149	Icc (kA)	2,864
R (Ohm)	0,756	R0 (Ohm)	1,291
X (Ohm)	1,525	X0 (Ohm)	5,692

**Tabla 10. Punto de conexión # 3**

DATOS CORTO CIRCUITO			
Trifásico		Monofásico	
Scc (MVA)	108,625	Scc (MVA)	21,150
Icc (kA)	4,751	Icc (kA)	2,775
R (Ohm)	0,463	R0 (Ohm)	0,983
X (Ohm)	1,703	X0 (Ohm)	5,453

#### 4.1.1 Datos de S, P, Q de cada circuito asociado al punto de conexión

Los datos de potencia son suministrados mediante el programa de VHOR el cual es propiedad de ELECTRICARIBE SA, este programa permite conocer la hora de máxima demanda del circuito, de la subestación, y de los transformadores asociados a cada subestación y circuito. De igual manera permite conocer el nivel operativo de tensión de cada subestación, estos datos permiten establecer el nivel de cargabilidad de los circuitos y de la subestación para determinar si existe disponibilidad eléctrica en atender la carga solicitada.

A continuación se relacionan los datos obtenidos por el programa visor horario de VHOR para el cálculo de potencia aparente, potencia activa y potencia reactiva según el punto de ubicación evaluado.

**Tabla 11. Descripción de potencias punto de conexión # 1**

Circuito Nueva Granada	
S	7.1 MVA
P	6.6 MW
Q	2.5 MVAR

**Tabla 12. Descripción de potencias punto de conexión # 2**

Circuito Silencio	
S	7 MVA
P	6.8 MW
Q	1.8 MVAR

**Tabla 13. Descripción de potencias punto de conexión # 3**

Circuito Modelo	
S	5.9 MVA
P	5.5 MW
Q	2 MVAR

#### 4.1.2 Estudio del perfil de tensión.

El perfil de tensión se realiza por medio del programa Dig Silent, estudio que sirve para determinar el nivel de tensión que tendrá el cliente en el punto de conexión asignado, el nivel de tensión es representado mediante una gráfica de valores

Los valores asociados al eje Y pertenecen a la de tensión del circuito que parte desde la subestación con tensión nominal de 13.8 kV y que tiene como fin el último tramo perteneciente al circuito al cual se le realiza el estudio de conexión.

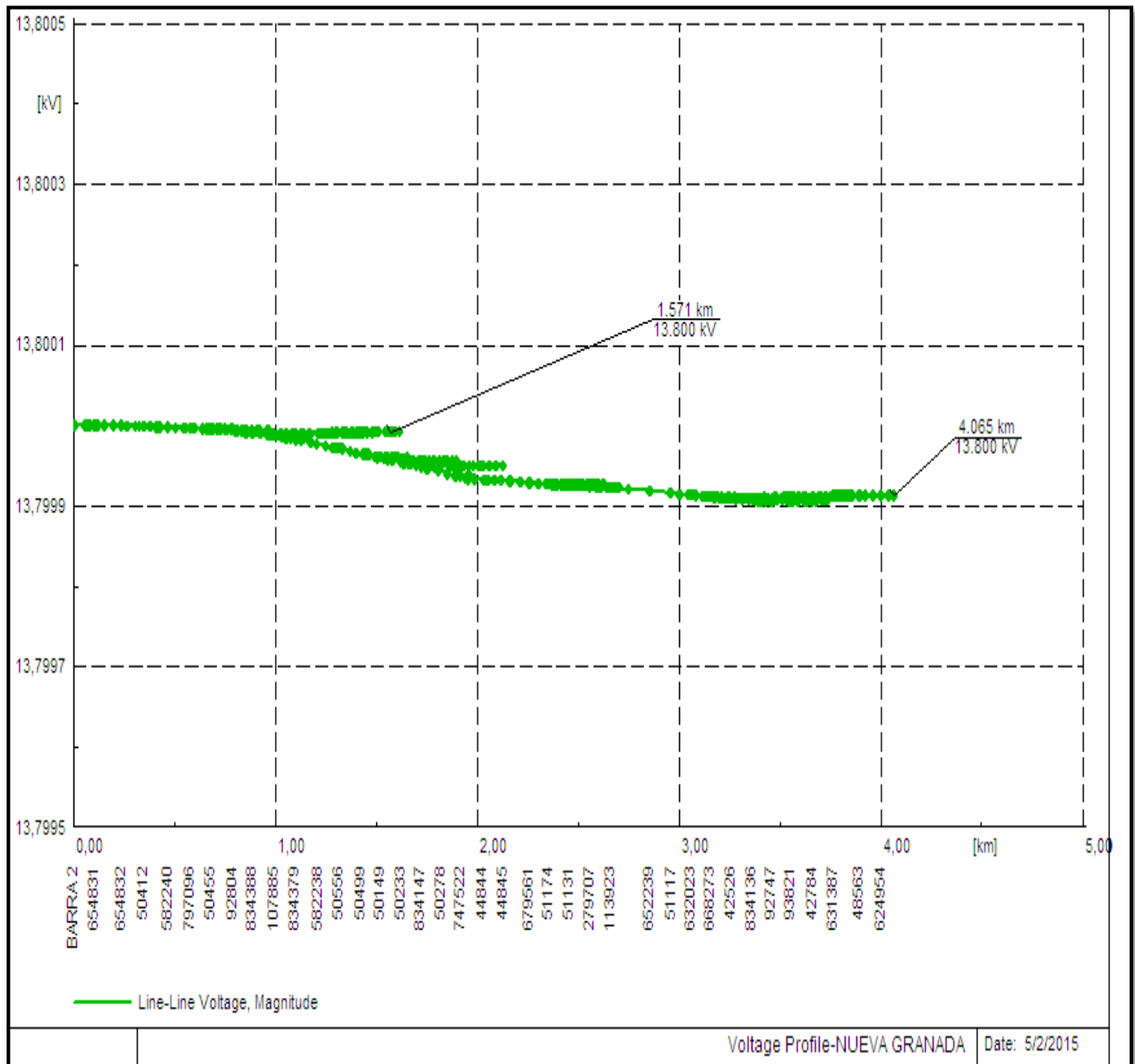
En el eje X se encuentra las distancias de cada tramo y ramal, perteneciente al circuito desde el momento que el primer tramo parte de la subestación, las unidades de medida en la gráfica para el eje X se encuentran asignadas en kilómetros (Km).

La razón principal por la que este estudio considera los valores asociados anteriormente al eje X y al eje Y, parte del concepto que a mayor distancia mayor caída de tensión, y a menor distancia, será mayor la tensión en el punto de conexión ya que se encuentra mucho más cercano a la subestación y no se ven involucrados otros factores que contribuyen a la caída de tensión como lo son los valores de resistencia y de reactancia, entre otros.

Este estudio es necesario como ya se mencionó anteriormente para determinar el nivel de tensión que se encuentra en el punto de conexión asignado. Y de acuerdo al valor obtenido, si la tensión en el punto de conexión es menor a los límites permisibles de calidad para el suministro energético tomar las medidas pertinentes para elevar la tensión y garantizar la calidad de energía en el punto de conexión, esas medidas tomadas pueden variar de acuerdo al requerimiento de diseño y a los recursos con los que cuente el operador de red, el cual es el encargado de garantizar al cliente que la tensión en el punto de conexión sea la adecuada. Una de las medidas más comunes que se implementan es la instalación de un regulador de línea para mantener la tensión.

A continuación se relacionan los niveles de tensión para cada punto de conexión.





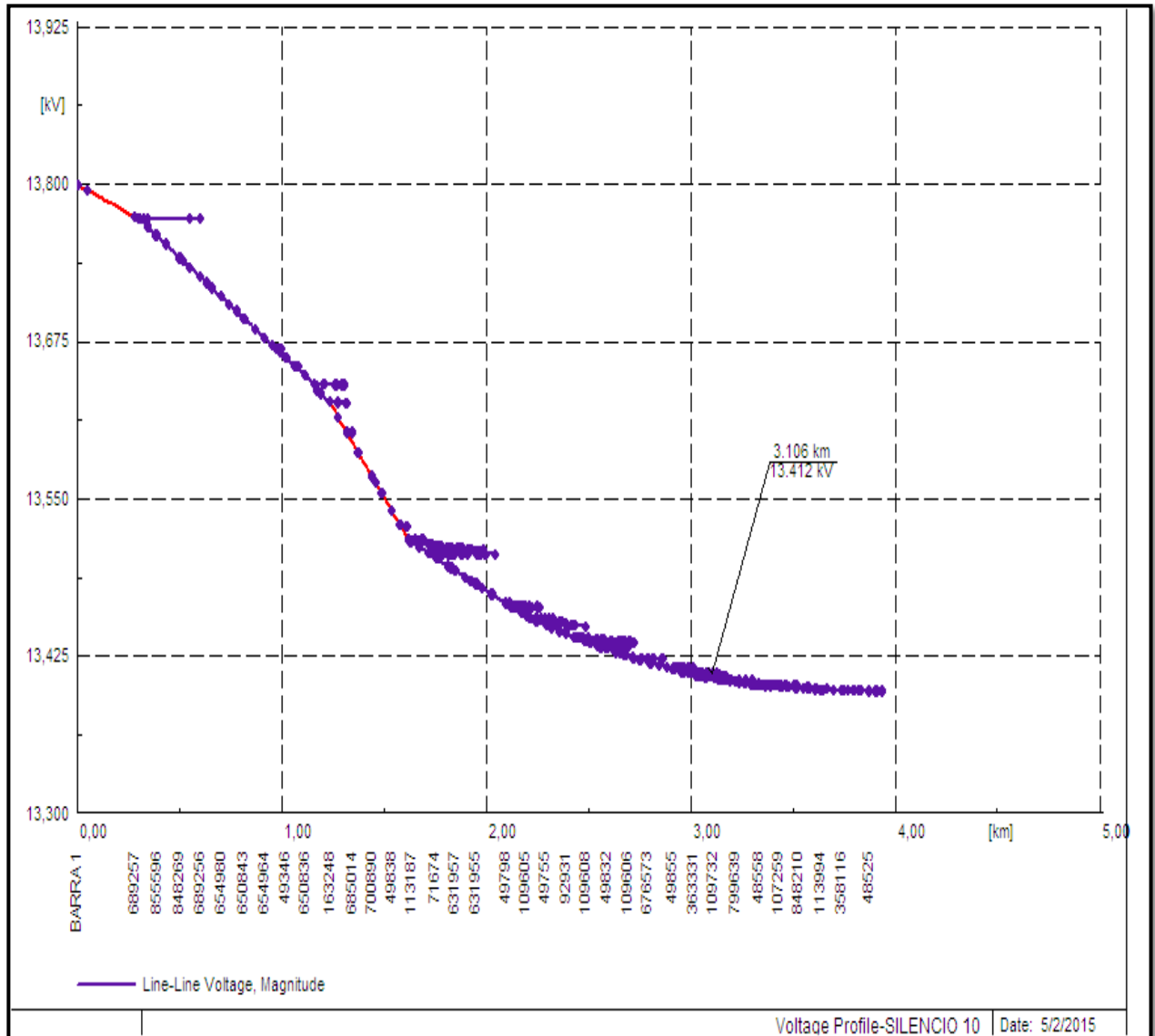
**Figura 13. Nivel de tensión punto de ubicación #1**

En esta grafica se puede observar que la tensión en el punto de ubicación # 1, se encuentra sobre los 13.8 kV nominales de la subestación, a una distancia de 1571 km, esto se debe a que el circuito nueva granada es relativamente pequeño en comparación con otros circuitos que son mucho más grandes y presentan mayores niveles de caída de tensión. Se puede observar que el último tramo de del circuito se encuentra sobre el mismo nivel de tensión a una mayor distancia, lo



## DISEÑO DEL MODELO ECONOMICO ENERGETICO PARA UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA (MEESAT) PARA LOS ARROYOS DE BARRANQUILLA.

que garantiza que en cualquier punto de conexión se mantengan niveles óptimos de voltaje para la conexión.



**Figura 14. Nivel de tensión punto de ubicación #2**

En esta grafica se observa que le nivel de tensión para le punto de conexión asignado se encuentra en 13.4 kV a una distancia de 3106 km, el cual se mantiene dentro de los niveles de operación que garantizan un servicio de calidad al sistema.

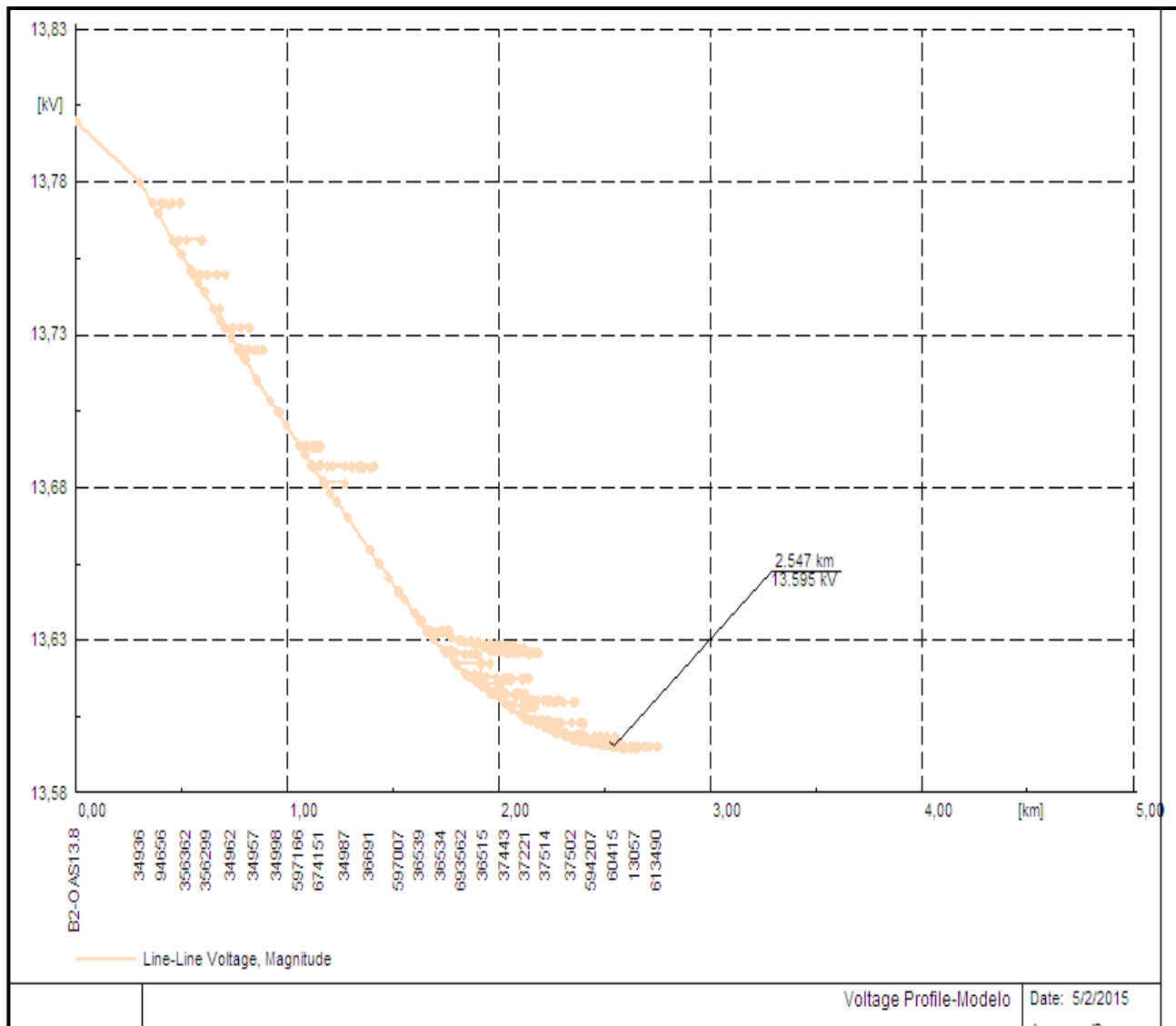


Figura 15. Nivel de tensión punto de ubicación #3

El tercer punto de conexión se encuentra con un nivel de tensión de 13.5 kV a una distancia de 2547 km, lo cual garantiza que los equipos instalados en este punto no necesiten de ningún elemento que regule la caída de tensión.

#### 4.1.3 Cargabilidad del circuito y de la subestación más cercana al punto de conexión

La cargabilidad es un estudio que se realiza con el fin de determinar la demanda que tiene la subestación o el circuito en un instante de tiempo, por medio de este estudio se puede determinar qué capacidad tiene ELECTRICARIBE SA para atender la demanda solicitada por el cliente.

##### 4.1.3.1 Datos para el cálculo de cargabilidad en el punto de conexión # 1

Los datos obtenidos fueron tomados de la base de datos de incidencias de Electricaribe SA

La subestación silencio está conformada por tres transformadores, su configuración es doble barra, estas barras se encuentran acopladas entre sí, por lo tanto la sumatoria de las potencias nominales de cada transformador nos dará como resultado la potencia nominal de la subestación.

**Tabla 14. Potencia nominal del circuito en el punto de conexión # 1**

Transformadores	S nominal
Transformador 1	28 MVA
Transformador 2	33 MVA
Transformador 3	39.2 MVA
<b>Total</b>	<b>100.2 MVA</b>

La potencia real del circuito la obtenemos mediante VHOR, programa propiedad de Electricaribe SA, el cual nos permite obtener la máxima demanda del circuito y de la subestación.

Datos de demanda en VHOR	
Subestación silencio	67.9 MVA

#### Dónde:

$\%$  = *porcentaje de cargabilidad*

$S_r$  = *demanda real de la subestacion*

$S_n$  = *potencia nominal de la subestacion*

### Calculo de cargabilidad de la Subestación:

$$\% = \frac{S_r}{S_n} \times 100 \quad \text{Ec. 9}$$

Remplazando variables:

$$\% = \frac{67.9 \text{ MVA}}{100.2 \text{ MVA}} \times 100 = 67.9 \% \approx 68 \% \quad \text{Ec. 10}$$

**Tabla 15. Valores obtenidos de cargabilidad punto de conexión #1.**

Elemento	Estado
Subestación Silencio T-SIL01/T-SIL02/T-SIL03 (Carg. %)	68 %
Circuito Nueva Granada (Atlántico) (Carg. %)	66 %
Tensión en punto de conexión (kV)	13.8

#### 4.1.3.2 Datos para el cálculo de cargabilidad en el punto de conexión # 2

Los datos obtenidos fueron tomados de la base de datos de incidencias de Electricaribe SA

La subestación silencio está conformada por tres transformadores, su configuración es doble barra, estas barras se encuentran acopladas entre sí, por lo tanto la sumatoria de las potencias nominales de cada transformador nos dará como resultado la potencia nominal de la subestación.

**Tabla 16. Potencia nominal del circuito en el punto de conexión # 3**

transformadores	S nominal
Transformador 1	28 MVA
Transformador 2	33 MVA
Transformador 3	39.2 MVA
<b>Total</b>	100.2 MVA

La potencia real del circuito la obtenemos mediante de VHOR, programa propiedad de Electricaribe SA, el cual nos permite obtener la máxima demanda del circuito y de la subestación.

Datos de demanda en VHOR	
Subestación silencio	67.9 MVA

**Dónde:**

$\%$  = porcentaje de cargabilidad

$S_r$  = demanda real de la subestacion

$S_n$  = potencia nominal de la subestacion

**Calculo de cargabilidad de la Subestación:**

$$\% = \frac{S_r}{S_n} \times 100 \quad \text{Ec. 10}$$

Remplazando variables:

$$\% = \frac{67.9 \text{ MVA}}{100.2 \text{ MVA}} \times 100 = 67.9 \% \approx 68 \% \quad \text{Ec. 11}$$

**Tabla 17. Valores obtenidos de cargabilidad punto de conexión #2.**

Elemento	Estado
Subestación Silencio T-SIL01/T-SIL02/T-SIL03 (Carg. %)	68,0%
Circuito Silencio 10 (Carg. %)	51.0 %
Tensión en punto de conexión (kV)	13,4

**4.1.3.3 Datos para el cálculo de cargabilidad en el punto de conexión # 3**

Los datos obtenidos fueron tomados de la base de datos de incidencias de Electricaribe SA

La subestación oasis está conformada por dos transformadores acoplados, por lo tanto la sumatoria de las potencias nominales de cada transformador nos dará como resultado la potencia nominal de la subestación.

**Tabla 18. Potencia nominal del circuito en el punto de conexión # 2**

transformadores	S nominal
Transformador 1	50 MVA
Transformador 2	50 MVA
<b>Total</b>	100 MVA

## DISEÑO DEL MODELO ECONOMICO ENERGETICO PARA UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA (MEESAT) PARA LOS ARROYOS DE BARRANQUILLA.

La potencia real del circuito la obtenemos por medio de VHOR, programa propiedad de Electricaribe SA, el cual nos permite obtener la máxima demanda del circuito y de la subestación.

Datos de demanda en VHOR	
Subestación silencio	50.7 MVA

**Dónde:**

$\%$  = *porcentaje de cargabilidad*

$S_r$  = *demanda real de la subestacion*

$S_n$  = *potencia nominal de la subestacion*

**Cálculo de cargabilidad de la Subestación:**

$$\% = \frac{S_r}{S_n} \times 100 \quad \text{Ec. 12}$$

Remplazando variables:

$$\% = \frac{50.7 \text{ MVA}}{100.2 \text{ MVA}} \times 100 = 50.7 \% \approx 51 \% \quad \text{Ec. 13}$$

**Tabla 19. Valores obtenidos de cargabilidad punto de conexión #3.**

Elemento	Estado
Subestación Oasis T-OAS02 (Carg. %)	51 %
Circuito Modelo (Carg. %)	81,1%
Tensión en punto de conexión (kV)	13,5

#### 4.1.4 Estudio de descargas atmosféricas

##### 4.1.4.1 Punto de conexión # 1

Los cálculos asociados al punto de conexión # 1 para el estudio de descargas atmosféricas son:

$$GFD = 0,12 \times 60 = 7,2 \text{ descarga/año/km}^2 \quad \text{Ec. 14}$$

$$N_s = 7,2 \times 2705 \text{m}^2 / 1000^2 = 0,019476 \text{ descarga/año} \quad \text{Ec. 15}$$

$$SP = 0,019476 \times 1 = 0,019476 \text{ descarga/año} \quad \text{Ec. 16}$$

$$N_f = \frac{1}{0,019476} = 51,34 \text{ años/descarga} \quad \text{Ec. 17}$$

El valor de falla sin apantallamiento estima que cada 51,34 años cae un rayo que produce una falla en el circuito de NUEVA GRANADA que proviene de la Subestación Silencio.

##### 4.1.4.2 Punto de conexión # 2

Los cálculos asociados al punto de conexión # 2 para el estudio de descargas atmosféricas son:

$$GFD = 0,12 \times 60 = 7,2 \text{ descarga/año/km}^2$$

$$N_s = 7,2 \times 3245 / 1000^2 = 0,023364 \text{ descarga/año}$$

$$SP = 0,023364 \times 1 = 0,023364 \text{ descarga/año}$$

$$N_f = \frac{1}{0,023364} = 42,8 \text{ años/descarga}$$

El valor de falla sin apantallamiento estima que cada 42,8 años cae un rayo que produce una falla en el circuito SILENCIO 10 que proviene de la Subestación Silencio.

#### 4.1.4.3 Punto de conexión # 3

Los cálculos asociados al punto de conexión # 3 para el estudio de descargas atmosféricas son:

$$GFD = 0,12 \times 60 = 7,2 \text{ descarga/año/km}^2$$

$$N_s = 7,2 \times 2404\text{m}^2/1000^2 = 0,017 \text{ descarga/año}$$

$$SP = 0,017 \times 1 = 0,017 \text{ descarga/año}$$

$$N_f = \frac{1}{0,017} = 57,77 \text{ años/descarga}$$

El valor de falla sin apantallamiento estima que cada 57,77 años cae un rayo que produce una falla en el circuito MODELO que proviene de la Subestación Oasis.

#### 4.1.5 Criterios a tener en cuenta de acuerdo a la implementación de Fuentes renovables de energía:

##### 4.1.5.1 Estudio de radiación solar de la ciudad de barranquilla

La evaluación del potencial solar de Colombia se ha realizado empleando principalmente información de estaciones meteorológicas del IDEAM (Instituto de Estudios Ambientales), procesada para ser transformada de información meteorológica en información energética. El potencial de energía solar en el país se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 20. Potencia de la energía solar en Colombia, por regiones.**

Región del país	Radiación solar (kW/m <sup>2</sup> / año)
Guajira	2000-2100
Costa Atlántica	1730-2000
Orinoquia-Amazonia	1550-1900
Región andina	1550-1750
Costa Pacífica	1450-1550

De acuerdo con la radiación solar registrada en la Costa Atlántica con un promedio de 1870 (kW/m<sup>2</sup>/ año) anual y el número de horas-sol al día registrado en el mapa de brillo solar suministrado por la Unidad de Planeación Minero Energética UPME estimado de 6 a 7 horas en cual hay mayor aprovechamiento de la radiación solar,



se realiza la división del promedio de la radiación solar anual entre 24 horas que tiene un día, por el número de horas-sol al día para obtener la radiación solar estimada en una hora tomando como referencia las dimensiones del área del panel fotovoltaico correspondiente a  $1m^2$ .

$$\text{Radiación solar/hora} = \left[ \left( \frac{\text{Radiación solar anual}}{365 \text{ días}} \right) / 24 \text{ horas} \right] \times N^{\circ} \text{ horas sol diarias}$$

Ec. 18

$$\text{Radiación solar/hora} = \left[ \left( \frac{1870 \text{ kW/m}^2 / \text{año}}{365 \text{ días}} \right) / 24 \text{ horas} \right] \times 7 \text{ horas sol}$$

$$\text{Radiación solar/hora} = 1,49 \text{ (kW/m}^2 / \text{hora)}$$

Realizando una estimación de cuantos Watts de radiación solar emite el sol por cada 2 minutos que hace el censo de datos y transmite la información a la plataforma de España como medida más crítica se realiza la división de 60 minutos entre 2 minutos por cada toma de datos obteniendo un total de 30 mediciones de datos por hora, luego se efectúa la división de la radiación solar por hora entre el resultado obtenido anteriormente:

$$\text{Radiación solar} = \frac{1,49 \text{ (kW/m}^2 / \text{hora)}}{30}$$

$$\text{Radiación solar} = 49,8 \text{ W/m}^2$$

De esta manera se concluye que el panel fotovoltaico de 20W que da el suministro de energía para los equipos de censo y tele medida, puede producir a capacidad los 20W para abastecer la demanda energética de los equipos situados en los puntos de ubicación.

#### 4.1.5.2 Porcentaje de pérdidas de un panel solar.

El porcentaje de perdidas respecto a lo que obtendríamos si el módulo estuviera operando en las condiciones estándar de medida (STC, 1000 W/m<sup>2</sup>, célula solar a 25°C, espectro AM1.5) se debe a los siguientes efectos que en distinto grado nos

alejando de las condiciones ideales para las que se define la potencia pico de un solo módulo [17].

### 1. Tolerancia de potencia de los módulos

Todos los módulos no tienen la misma potencia máxima (STC): Suelen adquirirse con +0%, -5% de error respecto a la potencia nominal [17].

### 2. Efecto de la temperatura de operación de las células

Las células pierden un 0.5% de potencia por cada grado que aumenta su temperatura. En operación la temperatura suele ser superior a los 25°C de las condiciones STC [17].

Teniendo en cuenta la temperatura promedio de la ciudad de Barranquilla el cual es de 32°C, se realiza un análisis para determinar las pérdidas por temperatura en la ciudad de Barranquilla.

Temperatura óptima de operación: 25° C

Temperatura real de Barranquilla: 32° C

$$\Delta T = T_{\text{optima}} - T_{\text{real}} \quad \text{Ec. 19}$$

$$\Delta T = 32^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C} = 7^{\circ}\text{C}$$

La diferencia entre temperaturas es de 7° C, por cada grado que aumente de la temperatura óptima de operación se estima que hay una pérdida de 0.5 % de potencia. Entonces:

$$P_{\text{de potencia}} = 7 \times 0.5 = 3.5 \% \quad \text{Ec. 20}$$

La pérdida de potencia obtenida en la ciudad de Barranquilla es de 3.5 % del valor nominal de la capacidad total del panel solar.

### **3. Pérdidas por desadaptación (mismatch)**

Son las pérdidas producidas como consecuencia de no tener todos los módulos la misma intensidad o corriente. Los fabricantes pueden dar los módulos ya clasificados. Los diodos de paso (bypass) que llevan incorporados los módulos o que puedan añadirse exteriormente tienen como fin proteger los módulos que den menos corriente por suciedad o sombras de objetos [17].

### **4. Suciedad de los módulos**

Provocarán una pérdida de potencia, prácticamente proporcional a la caída de corriente ya que se reduce la irradiación. En enclaves con lluvias periódicas se suele alcanzar una situación estable con un 3% de pérdidas promedio.

### **5. Deriva espectral**

La corriente de las células y por ende su eficiencia varía con el espectro de la luz incidente. Para las células de una sola unión, este efecto en la práctica es muy poco importante. Pero las células multifunción son seriamente afectadas por el espectro de la luz diurna [17].

### **6. Efecto de las sombras sobre los módulos**

En muchas aplicaciones, las sombras son inevitables y provocan un funcionamiento pobre o incluso nulo de alguna rama del conjunto. Las sombras parciales provocan una severa desadaptación de corrientes (mismatch) [17].

### **7. Incidencia oblicua del sol**

Dado que la incidencia de la radiación solar no es perpendicular a la superficie de los módulos salvo en los casos de seguimiento solar en dos ejes, se producen pérdidas por el incremento de la reflexión de Fresnel con el ángulo de incidencia solar [17].

### **8. Pérdidas en los cables**

La resistencia, tanto en la zona de continua como en la de alterna, provocará pérdidas por efecto Joule. Para minimizar estas pérdidas, hay que aumentar las secciones y minimizar la longitud del cableado [17].

### **9. Eficiencia del inversor**

Aunque ha mejorado mucho la calidad media de los inversores, su gasto de energía en operación y las caídas de tensión en los dispositivos de conmutación condicionan la eficiencia. Esta situación varía mucho dependiendo del equipo en

cuestión. El seguimiento del punto de máxima potencia para cualquier nivel de radiación es una función realizada por estos equipos. Deben preverse estrategias de mantenimiento y reparación de averías diligentes respecto a este equipo [17].

El objetivo del mantenimiento es prolongar la vida útil del sistema, asegurando además el funcionamiento y productividad de la instalación. Las revisiones de mantenimiento se reducen a la verificación de equipos y las averías son poco frecuentes en estas instalaciones. El mantenimiento preventivo permite detectar y corregir posibles problemas. El mantenimiento correctivo de reemplazo de equipos por averías, regularización y ajustes de sistemas ante fallos estará incluido en el contrato con la empresa encargada del mantenimiento, aunque, frecuentemente, la mano de obra necesaria para estos trabajos, o la sustitución de ciertos componentes fuera de plazo de garantía no suelen estar cubiertas.

#### **4.1.5.3 Operaciones de mantenimiento del sistema fotovoltaico.**

- Limpieza periódica de los módulos una vez al año aunque en muchos casos no se hace.
- Vigilancia del inversor (leds indicadores de estado y alarmas) en diferentes condiciones de irradiación solar, ya que este equipo es uno de los equipos menos fiable del sistema.
- Control de las conexiones eléctricas y del cableado de los módulos.
- Inspección visual de los módulos para comprobar roturas del vidrio, penetración de humedad en el interior del módulo, fallos de conexionado en el caso de que se produzcan averías.

Otras de los parámetros de estudio será la comprobación de los elementos de protección eléctrica para la seguridad personal y el funcionamiento de la instalación. En general, se revisarán todos los equipos, cableado, conexiones y estructuras de soporte.

### **4.2 Etapa 2. Análisis.**

#### **4.2.1 Análisis de confiabilidad**

El aplicativo desarrollado para la confiabilidad del sistema de alerta temprana SAT, se basa en el propósito fundamental de mantenimiento el cual corresponde a la prolongación y conservación de los equipos y elementos que componen un sistema, para proporcionar mayor rendimiento en el mayor tiempo posible [27].

Los objetivos principales del formato aportado por MEESAT son:

- Evaluar las variables de los equipos para establecer los rangos de operación adecuados para el funcionamiento
- Control y seguimiento de los tiempos de falla y reparación, para determinar las disponibilidades de los equipos.
- Garantizar el funcionamiento de los elementos del sistema
- Conservación de los equipos

La confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad son las únicas medidas técnicas y científicas, basadas en cálculos matemáticos y estadísticos que dispone el mantenimiento para su análisis. Contextualizando, la disponibilidad es el principal parámetro asociado al mantenimiento, debido a que limita la capacidad de trabajo continuo, a su vez se define como la probabilidad de que un equipo se encuentre en funcionamiento en un periodo de tiempo determinado sin que los periodos de tiempo incluyan paradas planificadas [28].

La confiabilidad, es la probabilidad de que un equipo desempeñe satisfactoriamente las funciones para el cual fue diseñado durante un periodo de tiempo especificado y bajo condiciones de operación dadas.

La mantenibilidad, es la probabilidad de un equipo en estado averiado, pueda ser reparada a una condición específica en un periodo de tiempo dado y usando unos recursos determinados [28].

Recopilando la información consultada de los indicadores mencionados anteriormente, se realiza el siguiente formato con el objetivo de determinar que tan confiable es el sistema de alertas tempranas (SAT) y establecer si la capacidad de trabajo continuo de diseño, con los valores reales de operación.

A continuación se relaciona en la siguiente imagen el aplicativo formato desarrollado por MEESAT para el análisis de confiabilidad.

**DISEÑO DEL MODELO ECONOMICO ENERGETICO PARA UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA (MEESAT) PARA LOS ARROYOS DE BARRANQUILLA.**

Código: GMT0-P01F13


Página 1 de 1

Versión: 2

Fecha: 07/12/2012

Título: Indicadores de Confiabilidad

Responsable: Gerente de Mantenimiento



DISPONIBILIDAD DEL EQUIPO

Tiempo total de operación (Hr.)	3200	
Tiempo total de parada (Hr.):	500	
Disoinibilidad teorica	86,49%	REGULAR
Tiempo promedio entre fallas (Hr.):	200	
Tiempo promedio entre reparacion (Hr.):	30	
Disponibilidad	86,96%	REGULAR

FIABILIDAD DEL EQUIPO (HORAS)

Horas de operación	600
Numero de fallas detectadas:	15
Tiempo promedio entre fallas	40
Tiempo total de fallas:	40
Numero de fallas detectadas:	15
Tiempo promedio para reparacion:	2,7

Indicador	Abreviatura	Formula	Responsable	Unidades	Valores	Color
Disponibilidad	D	$D = \frac{TPEF}{TPEF + TPPR} * 100$	Coordinacion de Mantenimiento	%	<div>100% - 97%</div> <div>91% - 96%</div> <div>81% - 90%</div> <div>0% - 80%</div>	<div></div> <div></div> <div></div> <div></div>
Tiempo Promedio de reparacion (Mantenibilidad)	TPPR	$TPPR = TTF / (\sum NTFALLAS)$	Coordinacion de Mantenimiento	Horas de Reparacion		
Tiempo Promedio entre fallas (Fiabilidad)	TPEF	$TPEF = HROP / (\sum NTFALLAS)$	Coordinacion de Mantenimiento	Dias entre fallas		

Significado de Siglas	Este valor representa una disponibilidad que fluctúa entre los siguientes parámetros:
TPEF = Tiempo promedio entre fallas	
TPPR = Tiempo promedio de reparacion	
TTF = Tiempo total de Fallas	
NTFALLAS = Numero de fallas detectadas	
HROP = Horas de Operación	
	0% - 80% Mala
	81% - 90% Regular
	91% - 96% Normal
	97% - 100% Óptima

**Figura 16. Formato de confiabilidad.**

#### **4.2.1.1 Instructivo de formato de confiabilidad**

En formato aportado por MEESAT para el análisis de la confiabilidad, se encuentran los requerimientos para hallar la disponibilidad de los equipos en base a la fiabilidad del equipo.

Existen dos formas de hallar la disponibilidad del equipo:

la primera forma de hallar la disponibilidad del equipo, consiste en la división del tiempo total de operación entre la sumatoria del tiempo total de operación más el tiempo total de parada en horas (Hr), aclarando de que el tiempo total de parada no es por mantenimiento preventivo sino por averías detectadas; el resultado de esta operación dará como resultado el porcentaje de disponibilidad del equipo junto a su criterio de evaluación de acorde al rango establecido.

La segunda forma de hallar la disponibilidad del equipo consiste en la división del tiempo promedio de fallas entre la sumatoria de el tiempo promedio entre fallas más el tiempo promedio de reparación. Estos valores se ingresan en Horas (Hr); el resultado de esta operación dará como resultado el porcentaje de disponibilidad del equipo junto a su criterio de evaluación de acorde al rango establecido.

En el recuadro de fiabilidad del equipo se calcula el tiempo promedio entre fallas y el tiempo promedio de reparación. Para el cálculo de tiempo promedio entre fallas se realiza la división de las horas de operación del equipo entre el número de fallas detectadas. Para el cálculo de tiempo promedio de reparación se realiza la división del tiempo total de fallas entre la sumatoria del tiempo total de fallas más el número de fallas detectadas.

De acuerdo a lo anterior, se obtiene un amplio y adecuado conocimiento de cómo manejar el aplicativo de confiabilidad de los equipos que integran el sistema de alertas tempranas (SAT).

#### **4.2.2 Análisis de seguridad**

La seguridad se considera como una condición instantánea, variable en el tiempo, que mide la solidez del sistema ante inminentes perturbaciones. La seguridad es básicamente un problema de operación.

La confiabilidad y la seguridad se encuentran entrelazadas, ya que un sistema con un alto grado de confiabilidad no será vulnerable a perturbaciones muy comunes y por obvias razones el nivel de seguridad se mantendrá alto, análogamente si la confiabilidad del sistema es baja, de igual manera la seguridad será baja.

MEESAT aporta un formato de seguridad que controla las inspecciones periódicas de mantenimiento, el cual va de la mano con el formato entregado de confiabilidad en el análisis anterior. En este formato de seguridad se establecen los parámetros requeridos para la inspección de los equipos, la conservación de cada elemento y a su vez la conservación de la vida humana.

El diligenciamiento de este formato lograra identificar las falencias o posibles fallas de los elementos del sistema, y a su vez servirá como dato estadístico para el control de indicadores de mantenimiento y de indicadores de confiabilidad.

En los campos de acción del formato encontramos una sección de información personal y de la empresa, el cual debe diligenciar la persona encargada de ir a terreno y de hacer la inspección.

Se encuentra una sección de medidas generales de seguridad para la ejecución del mantenimiento en donde se puede verificar si realizar el mantenimiento en el día programado es pertinente o no.

La sección de trabajo en altura es para verificar que todas las garantizar para realizar el trabajo sean las adecuadas, se debe considerar que los equipos se encontraran instalados en los postes de concreto en la parte superior y por esta razón es necesario considerar el trabajo en alturas.

La sección del tipo de mantenimiento, es para aclarar la acción que se va a realizar ya sea correctiva, preventiva, mejorativa o predictiva.


La sección de alcance es para verificar el estado en que se encontró los equipos y según el criterio evaluado realizar la pertinente acción de reparación o cambio de equipo.

Se recomienda que las inspecciones de mantenimiento, confiabilidad, y seguridad se realicen por lo menos dentro de un periodo de 3 meses, para tener un mejor control de la operación de los equipos instalados.




# DISEÑO DEL MODELO ECONOMICO ENERGETICO PARA UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA (MEESAT) PARA LOS ARROYOS DE BARRANQUILLA.

A continuacion se relacionan las imágenes de los formatos aportados por MEESAT para el analisis de seguridad y mantenimiento.

Código: <b>GMTO-P01F2</b> Página 1 de 1 Versión: 0 Fecha: 04/04/15	<b>Título:</b> Mantenimiento de Equipos para Sistema de Alertas Tempranas <b>Responsable:</b> Empresa Contratista	
<b>Nombre de la Empresa:</b> _____		<b>Nombre de persona encargada:</b> _____
<b>Nit de la Empresa:</b> _____		<b>Cedula:</b> _____
EQUIPOS DE PROTECCION CONTRA CAIDAS REQUERIDO		DATOS REQUERIDOS
Andamios	Arrestadores de caída	Equipo a intervenir:
Escaleras	Eslinga de posicionamiento	Fecha: dd / mm / aa
Grúa canasta	Eslinga con absorbedor	Hora de inicio:
Cinta de Anclaje	Arnés de Cuerpo Completo	Hora de finalización:
Conectores	Barandas portátiles	Localización:
Línea de Vida Horizontal	Barreras	
Línea de Vida Vertical		
Línea de vida autoretráctil		
MEDIDAS GENERALES DE SEGURIDAD		
Se ha notificado a las áreas ó grupos de trabajo que pudieran ser afectados por la ejecución de este trabajo y se han tomado todas las medidas para no interferirse mutuamente.		SI N/A
Las personas que ejecutarán este trabajo se encuentran en buen estado de salud y no están bajo la influencia de alcohol o medicamentos que los inhabiliten.		SI N/A
Las condiciones climáticas permiten desarrollar el trabajo de manera segura.		SI N/A
El personal autorizado conoce la tarea, el método ó procedimiento a seguir para ejecutar el trabajo, está instruido sobre los riesgos del trabajo y que NO pueden iniciar hasta que el permiso esté autorizado.		SI N/A
Se consultó la documentación técnica del equipo a intervenir.		SI N/A
El equipo a intervenir está asegurado: Desenergizado, aterrizado, despresurizado y/o bloqueado con candado y etiqueta.		SI N/A
Los elementos de protección personal y ropa de trabajo son apropiados para realizar el trabajo y están en buenas condiciones.		SI N/A
Se garantiza las condiciones de orden y aseo antes, durante y al finalizar el trabajo.		SI N/A
Se requiere durante la ejecución del trabajo la presencia de una persona competente		SI N/A
Se cuenta con sistemas de comunicación.		SI N/A
Se ha aislado el área de trabajo con cinta de "Peligro", cuerda, barrera física, y avisos de advertencia para evitar el acceso a terceros.		SI N/A
TRABAJO EN ALTURAS		
Los equipos contra caídas son apropiados para realizar el trabajo, fueron inspeccionados y están en óptimo estado.		SI N/A
Los andamios no presentan daños, grietas, deformaciones. Están limpios, los módulos completos, nivelados en suelo firme y seco sobre bases resistentes, amarrados y venteados a estructura firme y resistente.		SI N/A
Las escaleras no presentan daños, grietas, deformaciones, limpias, zapatas antideslizantes sin daños, ubicadas en el suelo firme, paralelo y seco, posicionadas según altura, sobresalen mínimo 1 metro de la superficie de trabajo.		SI N/A
Los puntos de anclaje están ubicados por encima del trabajador, en estructuras firmes y resistentes (5000 libras por trabajador).		SI N/A
Las eslingas y líneas de vida están protegidas para evitar que sean cortadas con bordes o superficies afiladas o cortantes.		SI N/A
Se asignó acompañante ó vigia para realizar el trabajo en altura.		SI N/A
Todos los trabajadores tienen líneas adecuadas y suficientes en largo y cantidad. NO se puede asegurar más de 1 trabajador en una misma línea de vida vertical ni más de 2 trabajadores en una línea horizontal.		SI N/A
Las bambas o andamios colgante fueron inspeccionados en todas sus partes, vigas o estructuras de soporte,		SI N/A
Los tabloneros o plataformas no presentan daños, ni grietas, cubren la totalidad de la superficie de trabajo, no		SI N/A
Se instalaron barandas a lo largo de todos los lados abiertos		SI N/A
El andamio está aislado (Aterrizado) en forma adecuada ante la posibilidad de un riesgo eléctrico		SI N/A
Para trabajos en cubiertas se definió con Seguridad Industrial los mecanismos de anclaje		SI N/A
VARIABLE DE ACCIÓN	TIPO DE MANTENIMIENTO A REALIZAR	
	SI	NO
Mantenimiento Preventivo		Observación
Mantenimiento Correctivo		Observación
Mantenimiento Mejorativo		Observación
Mantenimiento Predictivo		Observación
Otros:		Observación

**DISEÑO DEL MODELO ECONOMICO ENERGETICO PARA UN SISTEMA DE  
ALERTA TEMPRANA (MEESAT) PARA LOS ARROYOS DE BARRANQUILLA.**

<b>Código:</b> GMT0-P01F2	<b>Título:</b> Mantenimiento de Equipos para Sistema de Alertas Tempranas		 <b>UNIVERSIDAD DE LA COSTA</b> <small>1970</small>		
Página 1 de 1					
Versión: 0					
Fecha: 04/04/15	<b>Responsable:</b> Empresa Contratista				
<b>HERRAMIENTAS Y MATERIALES MÍNIMOS SUGERIDOS</b>					
1. PATRÓN DE CALIBRACIÓN	5. JUEGO ALLEN DE 1 mm A 12 mm	9. CINTA TEFLÓN 1/2"			
2. DESTORNILLADOR DE PALA Y ESTRÍA	6. LIMPIA CONTACTO	10. CINTA DE ENMASCARAR			
3. JUEGO LLAVES MIXTAS DE 8 mm A 15 mm	7. MULTIMETRO DIGITAL				
4. BANCO DE PRUEBA EN TALLER	8. CINTA AISLANTE				
<b>ALCANCE EN LA EJECUCIÓN DE LA TAREA</b>					
		SI = $\checkmark$			
		NO = X			
			<b>ESTADO</b>		<b>ACCIÓN</b>
			<b>BUENO</b>	<b>MALO</b>	<b>Reparac.</b> <b>Cambio</b>
1. VERIFICAR LOS PERMISOS Y ELEMENTOS DE PROTECCIÓN	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. VERIFICAR EL ANÁLISIS DE RIESGOS (AST)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. INSPECCION DE GABINETE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. LIMPIAR EXTERNAMENTE EL GABINETE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. INSPECCION DE ABRAZADERAS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. LAVADO DE PANEL FOTOVOLTAICO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. VERIFICAR EMISION DE PULSOS DEL SENSOR VEGAPLUS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. VERIFICAR REVERSION DE RECEPTOR DE PLUVIOMETRO PARA MEDICION DE PRECIPITACION ACUMULADA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. VERIFICAR ESTADO DE CABLEADO EN GENERAL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11. VERIFICAR ESTADO DE CONEXIÓN ENTRE ELEMENTOS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12. VERIFICAR TENSION EN BATERIAS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13. NORMALIZAR EL ÁREA Y EQUIPOS DE TRABAJO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14. PROTOCOLIZAR Y DEVOLVER PERMISOS					
15. REALIZAR INFORME.					
OBSERVACIONES:					
<b>EJECUTOR</b>		<b>SUPERVISOR</b>		<b>FECHA:</b>	

**Figura 17. Formato de seguridad.**

### 4.3 Etapa 3. Caracterización energética

#### 4.3.1 Definir las características de cada equipo, por ubicación y del sistema total.

**Tabla 21. Características individuales por equipo.**

EQUIPO	CARACTERÍSTICA	CONSUMO	PRECIO
PLUVIOMETRO	Contacto abierto – cerrado (Suministro de energía a través del Gateway)	N/A	
MODEM GSM/GPRS RFIX - GSM 0901	Alimentación: 5V	100mA – 2A	
SENSOR DE RADAR VEGAPLUS	Tensión de alimentación: 12V	14mA	
GATEWAY GW-LP-01	Alimentación: Min. 4.5V máx. 5.5V	5mA	
SERVIDOR ARK   Intel® Xeon® Processor E5-2420 v2	Alimentación: 110V	80W	\$ 6.150.023
COMPUTADOR ESCRITORIO-OPTIPLEX 9020	Alimentación: 110V	250W	\$ 2.864.078
PANEL FOTOVOLTAICO	Tensión Nominal 12V- 20W	N/A	
BATERIAS LITIO	4,8V- 4800mAh	N/A	

En la tabla anterior se describe las características principales de los equipos que componen el SAT, esta tabla es fundamental para la descripción del consumo de cada punto de conexión y del sistema en completo, a partir de ella nace el análisis de caracterización del SAT. En ella se tuvieron en cuenta los consumos de cada equipo y los precios aportados por el proyecto.

#### Descripción Consumo energético de cada equipo por punto de conexión.

**Tabla 22. Consumo energético por punto de ubicación**

CONSUMO ENERGETICO POR PUNTO DE UBICACIÓN		
EQUIPO	CANTIDAD	CONSUMO (Kw/h)
PLUVIOMETRO	1	N/A
MODEM GSM/GPRS RFIX - GSM 0901	1	0,360
SENSOR DE RADAR VEGAPLUS	1	0,121
GATEWAY GW-LP-01	1	0,018
<b>CONSUMO TOTAL (kW/h):</b>		<b>0,499</b>

En la tabla anterior se describe el consumo obtenido para cada equipo del sistema que se encuentran en los puntos de conexión de monitoreo del arroyo. El consumo total es obtenido en Kw/h.

- **Descripción del Consumo energético total del sistema incluyendo los tres puntos de conexión.**

**Tabla 23. Consumo energético total del sistema.**

CONSUMO ENERGETICO TOTAL DEL SISTEMA		
EQUIPO	CANTIDAD	CONSUMO (Kw/h)
PLUVIOMETRO	3	N/A
MODEM GSM/GPRS RFIX - GSM 0901	3	1,080
SENSOR DE RADAR VEGAPLUS	3	0,363
GATEWAY GW-LP-01	3	0,054
SERVIDOR ARK   Intel® Xeon® Processor E5-2420 v2	1	1,92
COMPUTADOR ESCRITORIO-OPTIPLEX 9020	1	6
CONSUMO TOTAL (kW/h):		9,4

El consumo energético total del sistema el cual contempla cada equipo de los tres puntos de conexión, incluyendo el servidor principal del sistema y el computador de referencia para el monitoreo es de 9 Kw/h.

**Descripción del consumo del sistema mediante el suministro de la red convencional de energía.**

Las tablas que se referencias a continuación corresponden al análisis por punto de conexión y total del sistema, contemplando la opción de la conexión mediante el suministro de energía de la red de Electricaribe. El precio establecido por Kw/h por la empresa ELECTRICARIBE SA, corresponde a un valor de 347.91 pesos colombianos.

En las siguientes tablas se analizan los costos de consumo únicamente. Sin tener en cuenta los costos de instalación, costos de acometida, costos de protecciones eléctricas entre otros, que son anexados a la factura de ELECTRICARIBE SA.

**Descripción del consumo energético por punto de ubicación.**

**Tabla 24. Consumo energético por punto de ubicación #2.**

CONSUMO ENERGETICO POR PUNTO DE UBICACIÓN			
EQUIPO	CANTIDAD	CONSUMO (Kw/h)	PRECIO \$ (Kw/h)
PLUVIOMETRO	1	N/A	347,91
MODEM GSM/GPRS RFIX - GSM 0901	1	0,360	
SENSOR DE RADAR VEGAPLUS	1	0,121	
GATEWAY GW-LP-01	1	0,018	
<b>CONSUMO TOTAL (kW/h):</b>		<b>0,499</b>	
<b>PRECIO TOTAL Kw/h MENSUAL POR PUNTO DE UBICACIÓN (\$):</b>		<b>\$ 173.6</b>	<b>\$ 174</b>

En la anterior tabla se relaciona el costo que representa el consumo energético por cada punto de conexión instalado. Sin tener en cuenta el servidor y el computador de monitoreo, puesto que no hacen parte de los equipos que se encuentran instalados en los postes de concreto.

**Descripción del consumo energético total del sistema.**

**Tabla 25. Consumo energético total del sistema #2.**

CONSUMO ENERGETICO TOTAL DEL SISTEMA			
EQUIPO	CANTIDAD	CONSUMO (Kw/h)	PRECIO \$ (Kw/h)
PLUVIOMETRO	3	N/A	347,91
MODEM GSM/GPRS RFIX - GSM 0901	3	1,080	
SENSOR DE RADAR VEGAPLUS	3	0,363	
GATEWAY GW-LP-01	3	0,054	
SERVIDOR ARK   Intel® Xeon® Processor E5-2420 v2	1	57,6	
COMPUTADOR ESCRITORIO-OPTIPLEX 9020	1	180	
<b>CONSUMO TOTAL (kW/h):</b>		<b>239,1</b>	
<b>PRECIO TOTAL kW/h MENSUAL DEL SISTEMA INCLUYENDO PUNTOS DE UBICACIÓN:</b>		<b>\$ 83.184,20</b>	

En la anterior tabla se puede observar el costo del consumo total del sistema, teniendo en cuenta todos los equipos que componen el SAT. El valor total del consumo mensual del proyecto sin tener en cuenta los cargos hechos en la factura de conexión por la empresa ELECTRICARIBE SA es de un valor de \$ 83.184.20 pesos colombianos.

#### **4.3.2 Informe de consumo total del sistema**

El presente informe describe el consumo del sistema y los criterios que fueron tenidos en cuenta la hora del cálculo del consumo por equipos relacionados en las tablas de la sección anterior. No se tuvo en cuenta la descripción del servidor y del computador de monitoreo, puesto que los datos de consumo de estos dos equipos son estándar y se encuentran registrados en las placas características de cada uno.

##### **Consumo del Gateway:**

El Gateway está preparado para funcionar con una batería de NiMH con 4 celdas, con una tensión de 4.8V (mín 4.5V, máx 5.5V). El equipo se suministra con unas baterías de estas características con una capacidad de 4800mAh de alto rendimiento. Para la recarga de la batería se emplea un panel solar de tensión nominal de 12V (máx 18V). El equipo se suministra con un panel de estas características con una potencia de 20W.

El consumo del equipo en funcionamiento normal es de aproximadamente 5mA. Dependiendo de la configuración de los parámetros, número de sensores, número de comunicaciones diarias, etc., el consumo medio del equipo aumenta.

##### **Consumo del Sensor VegaPlus:**

Una configuración con un sensor vega midiendo cada 15 minutos, realizando una comunicación de datos cada hora supondría un consumo de unos 14mA. Con las baterías actuales de 4800mAh, suponiendo una carga del 80%, se asegura una autonomía de unos 12 días sin recarga.

##### **Consumo del Modem GPRS:**

En cuanto al módem, se alimenta directamente a través del gateway, por lo que si éste funciona de forma correcta, no debería presentar ningún problema. La alimentación es de 5V y el consumo medio es de unos 100mA cuando está en funcionamiento, llegando a picos puntuales de hasta 2A cuando establece comunicaciones.

##### **Consumo del Pluviómetro:**

El pluviómetro es un simple contacto abierto-cerrado, por lo que no tiene especificaciones de consumo o tensión. Es el propio Gateway el que proporciona la alimentación a la propia entrada.

**NOTA:** Para los datos anteriormente descritos se toma como referencia el punto más crítico de toma de medidas cada 2 minutos, para esta referencia se obtiene



DISEÑO DEL MODELO ECONOMICO ENERGETICO PARA UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA (MEESAT) PARA LOS ARROYOS DE BARRANQUILLA.

un consumo total del sistema de 9,4 kW/h. Si la toma de datos varia a 5 minutos, el consumo disminuiría paulatinamente.

Para el servidor y el computador de escritorio se establece un trabajo continuo, por tal razón su consumo es de 24 horas, Por ser el panel fotovoltaico y las baterías de litio dispositivos que agregan energía al sistema no se tienen en cuenta para el cálculo de consumo energético.

4.3.3 Proyección de la demanda en caso de agregar más elemento al sistema.

Para el siguiente estudio se consideraron los principales arroyos de la ciudad, los cuales tienen los índices de peligrosidad más elevados. Dentro de este análisis se incluyó de igual manera el arroyo objeto de estudio del proyecto SAT.



Figura 18. Consumo Energético Arroyo carrera 65.

De acuerdo a la cantidad de afluentes del arroyo se determino que para el control y monitoreo total del arroyo de la calle 65, se deben implementar tres puntos de monitoreo, los cuales tendrían un consumo de 1.497 Kw/h

DISEÑO DEL MODELO ECONOMICO ENERGETICO PARA UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA (MEESAT) PARA LOS ARROYOS DE BARRANQUILLA.



Figura 19. Consumo Energético Arroyo Carrera 21 - Rebolo.

El arroyo de Rebolo se ha caracterizado por ser uno de los más caudalosos, y uno de los que más víctimas mortales ha cobrado, para su control se sugiere que se implementen 4 puntos de monitoreo, los cuales tendrán un consumo de 1.996 Kw/h.



DISEÑO DEL MODELO ECONOMICO ENERGETICO PARA UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA (MEESAT) PARA LOS ARROYOS DE BARRANQUILLA.

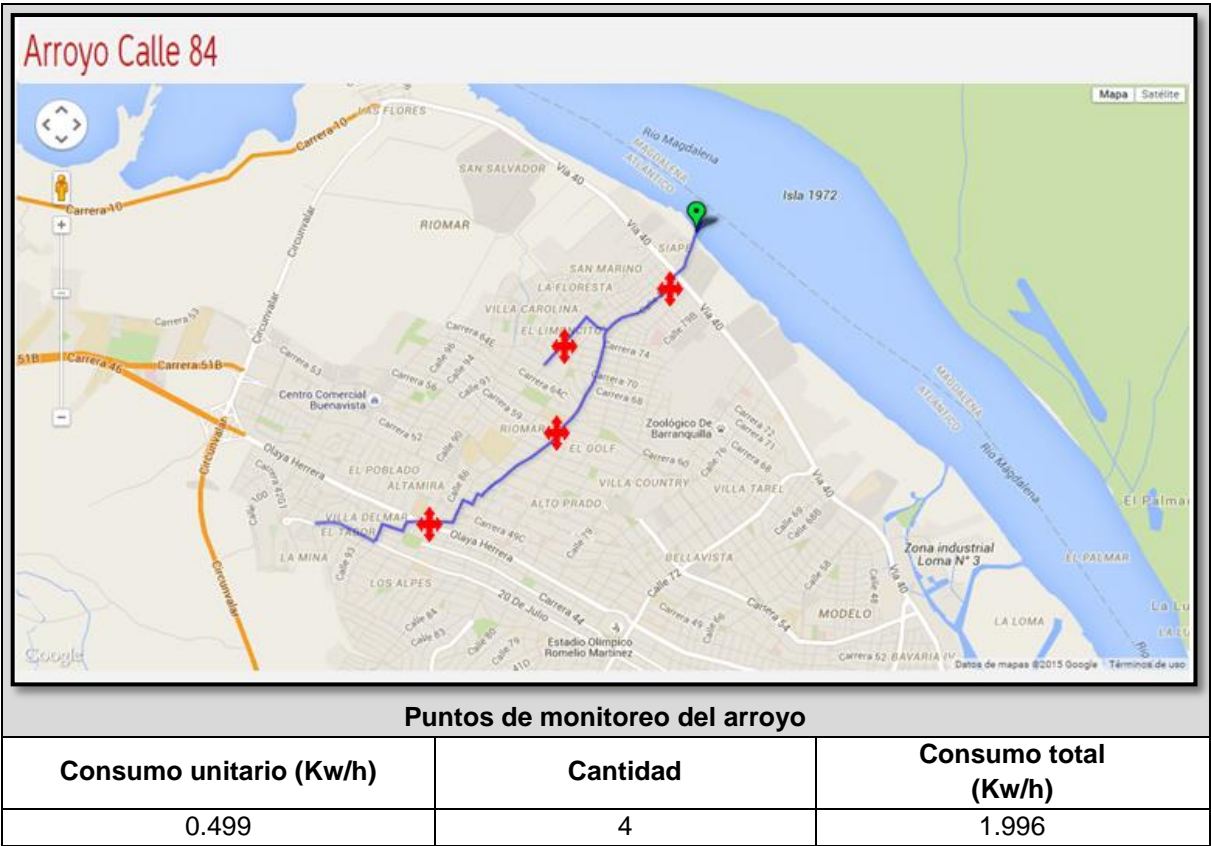


Figura 20. Consumo Energético Arroyo Calle 84.

Para el control del presente arroyo cuyo cauce ha traído grandes problemas de movilidad al norte de la ciudad, se recomienda la instalación de 4 puntos de monitoreo el cual tienen como consumo total 1.996 Kw/h.

DISEÑO DEL MODELO ECONOMICO ENERGETICO PARA UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA (MEESAT) PARA LOS ARROYOS DE BARRANQUILLA.



Figura 21. Consumo Energético Arroyo Country calle 76.

Los puntos de monitoreo sugeridos para el control del presente arroyo son 4 de acuerdo al recorrido que este arroyo realiza, para garantizar su completa inspección y tener medidas más certeras, su consumo total estimado, sería de 1.996 Kw/h.

DISEÑO DEL MODELO ECONOMICO ENERGETICO PARA UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA (MEESAT) PARA LOS ARROYOS DE BARRANQUILLA.



Figura 22. Consumo Energético Arroyo Don Juan.

Dentro del presente análisis, es el que más puntos de monitoreo necesita de acuerdo al número de ramales que presenta el arroyo, en total se necesitan para su completo control 6 puntos de monitoreo. Su consumo total es de 2.994 Kw/h.

Mediante al análisis anterior, se relaciona la siguiente tabla el cual nos muestra el consumo total de los puntos de conexión implementados para el monitoreo total de los 5 arroyos expuestos anteriormente.

**Tabla 26. Consumo energético total de arroyos estudiados.**

Consumo total	
Nombre del arroyo	Consumo (Kw/h)
Arroyo de la 65	1.497
Arroyo carrera 21-Rebolo	1.996
Arroyo de la calle 84	1.996
Arroyo del country o calle 76	1.996
Arroyo Don Juan	2.994
<b>Total</b>	<b>10.479</b>

El consumo total para la implementación del monitoreo de los arroyos en la presente tabla es de aproximadamente 10.5 Kw/h, para el estudio total de los 5 arroyos se necesita la implementación de un total de 21 puntos de monitoreo, los cuales reflejan el consumo total.

#### 4.4 Etapa 4. Diseño del modelo

##### 4.4.1 Diagrama de procesos

El diagrama de procesos está compuesto de tal manera que describe gráficamente la categorización el modelo MEESAT. En primera instancia, se encuentran los sensores de nivel y pluviómetro que cumplen la siguiente función:

El sensor Vega Plus implementado para el desarrollo del SAT consiste en un sistema de antena integrado en el sensor de radar que emite pulsos de microonda extremadamente cortos, que se reflejan en la superficie del arroyo y vuelven al sistema de antena. El tiempo transcurrido desde la emisión de los pulsos de microonda hasta la recepción es proporcional al nivel del caudal [29].

A su vez, el sensor pluviómetro funciona de tal manera que la precipitación de agua que pasa a través de una boca calibrada de 1000 cm<sup>3</sup>, desemboca en un recipiente de equilibrio en soportes diseñados para minimizar la fricción. El receptor recoge el agua hasta que el peso (equivalente a 0,2 mm de lluvia) no causa la reversión. Con cada lanzamiento del receptor se envía a la unidad de adquisición un pulso eléctrico. La electrónica en el medidor de lluvia por el número

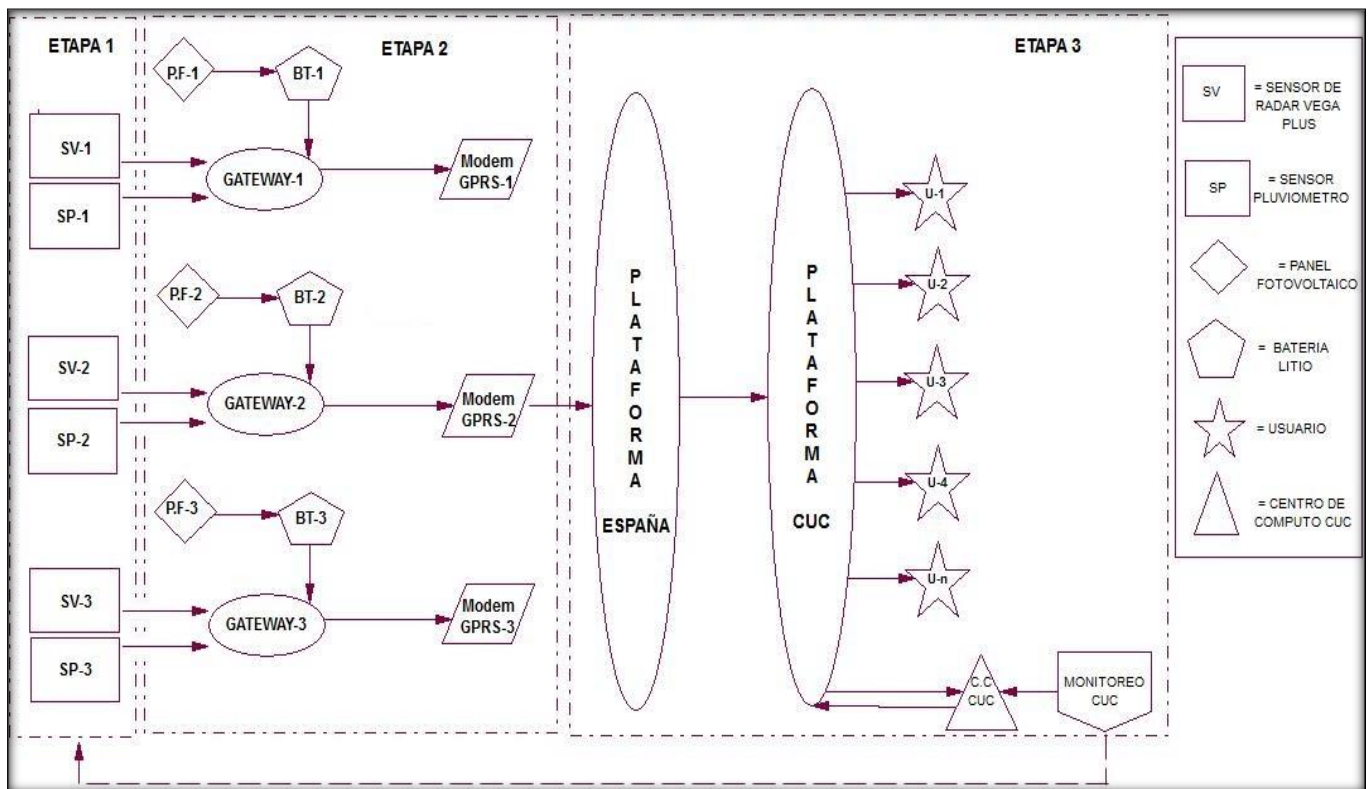


Figura 23. Diagrama de procesos MEESAT.

de impulsos recibidos calcula la precipitación acumulada y la intensidad de las precipitaciones, calculado cada minuto en mm/h [30].

Como segunda instancia, se encuentra la segunda etapa de los equipos correspondiente a equipos de tele medida y monitoreo como son el Gateway GW-LP-01 y el Modem GSM/GPRS.

El Gateway Low Power GW-LP-01 es un dispositivo perteneciente al sistema de tele medida medioambiental desarrollado por BALMART. Permite el almacenamiento de información de los diferentes sensores conectados a sus entradas, así como el envío continuo de los datos mediante su módem GPRS incluido.

El Modem GSM/GPRS implementado en el Sistema de Alerta Temprana SAT tiene un papel fundamental, ya que este es el puerto de comunicación entre los equipos ubicados en los puntos de conexiones y el servidor ubicado actualmente en la Universidad de la Costa. Sin este dispositivo se imposibilitaría el registro de datos tomados por los sensores en el servidor.

En este mismo orden se encuentra el servidor web que consiste en un programa que se ejecuta continuamente en un computador, manteniéndose a la espera de peticiones de ejecución que le hará un cliente o un usuario de Internet. El servidor web se encarga de contestar a estas peticiones de forma adecuada, entregando como resultado una página web o información de todo tipo de acuerdo a los comandos solicitados. En este punto es necesario aclarar lo siguiente: mientras que comúnmente se utiliza la palabra servidor para referirnos a una computadora con un software servidor instalado, en estricto rigor un servidor es el software que permite la realización de las funciones descritas [31].

Como última etapa se encuentra, el monitoreo de los datos registrados y tomados por los diferentes sensores. Esta última etapa corresponde al centro de cómputo para la visualización en tiempo real desde la web suministrada por la empresa BELMART, encargada de la gestión y el envío de los datos registrados al usuario final.

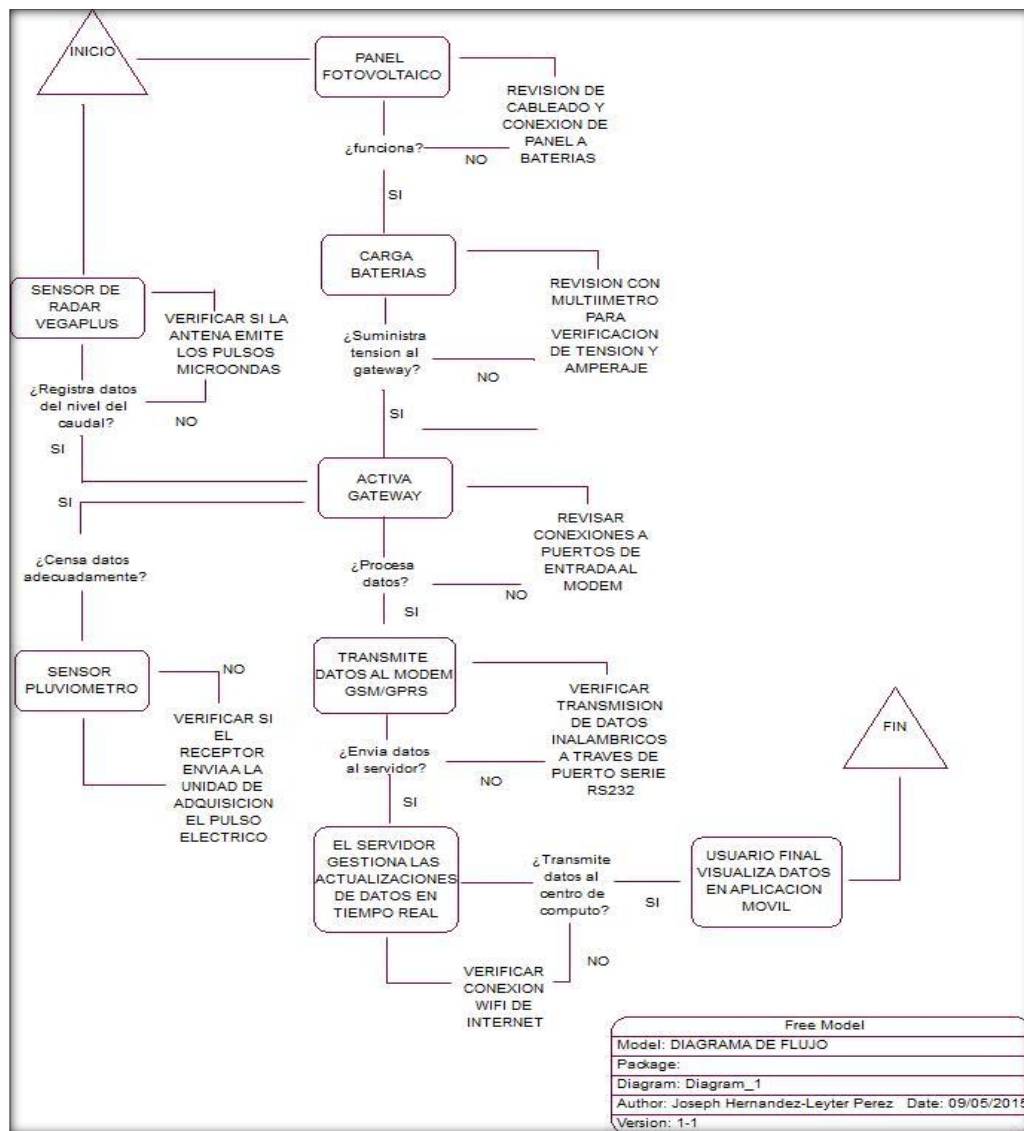
#### **4.4.2 Diagrama de flujo**

El modelo MEESAT aporta el diagrama de flujo el cual representa el funcionamiento del SAT, en él se describe los procedimientos a realizar en caso que algún elemento se encuentre en falla.

A continuación en la siguiente figura se relaciona el diagrama de flujos diseñado por MEESAT:



## DISEÑO DEL MODELO ECONOMICO ENERGETICO PARA UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA (MEESAT) PARA LOS ARROYOS DE BARRANQUILLA.



**Figura 24. Diagrama de flujos MEESAT.<sup>14</sup>**

En el diagrama de flujo podemos observar la línea de acción a seguir de acuerdo al funcionamiento de cada elemento que compone el SAT. Si el elemento presenta fallas, se envía a la revisión correspondiente, y luego vuelve a la línea de inspección para continuar con el proceso. El funcionamiento del SAT es resumido por medio del diagrama de flujo aportado por MEESAT, en el se integran todos los elementos del sistema desde el inicio en donde se encuentran localizados los puntos de conexión, hasta el final donde la señal es enviada mediante la aplicación móvil hasta el usuario final.

<sup>14</sup> Fuente: Propia.

#### 4.5 Limitaciones

El modelo MEESAT se encuentra limitado por la interpretación de resultados teóricos, debido que los resultados prácticos no se pudieron obtener, ya que los puntos de conexión del sistema no se encuentra instalados al momento del diseño de MEESAT, por lo tanto, este modelo se encuentra basado en datos que fueron tomados directamente de las placas características de los equipos y de las hojas de especificación de cada uno de ellos.

El modelo MEESAT se ha visto limitado en su desarrollo debido al permiso que debe otorgar la empresa encargada de los postes de la ciudad de barranquilla ELECTRICARIBE S.A. E.S.P., la cual ha demorado la gestión para autorizar el descargo para la instalación de los equipos en los centros de apoyo o postes seleccionados.

La empresa ELECTRICARIBE S.A. E.S.P., actual operadora de red de la ciudad de barraquilla, encargada del suministro de energía a los habitantes de esta ciudad, y en uso de sus facultades como propietarios de los elementos que componen el sistema de distribución local, exigen un mínimo de requisitos para atender la solicitud de nuevos suministros. Dentro de estos requisitos se encuentran:

**El peso de los equipos a instalar no debe ser superior a los estándares de fabricación de los postes de concreto.**

Bajo este criterio de Electricaribe S.A. E.S.P. se establece que los postes de concreto se dividen en 3 tipos de estructuras las cuales soportan los siguientes pesos:

**Tabla 27. Cantidad de peso límite para colocación de equipos en poste.<sup>15</sup>**

Estructura	Especificación	Peso de trabajo (Kg).	Peso de rotura (Kg).
<b>Tipo A</b>	Alineación o ángulos hasta dos grados.	900	2700
<b>Tipo B</b>	Estructura de suspensión para ángulos medianos.	1100	3300
<b>Tipo C -90</b>	Estructura de retención para ángulos grandes (60° y 90°), crucetas para doble circuito.	1250	3750

---

<sup>15</sup> Tabla obtenida de [http://www.electricaribe.com/servlet/ficheros/1297134217685/Especificaciones\\_Tecnicas\\_Estructuras\\_AT.pdf](http://www.electricaribe.com/servlet/ficheros/1297134217685/Especificaciones_Tecnicas_Estructuras_AT.pdf)



De igual manera la empresa Electricaribe SA E.S.P. requiere que los puntos de ubicación seleccionados para la instalación de los equipos deben de encontrarse en postes de concretos o centros de transformación (CT) que se encuentren libres de equipos de distribución del SDL. (Transformadores, interruptores, seccionadores, entre otros.) Como consecuencia los postes seleccionados según el criterio de MEESAT para la instalación de equipos tuvieron que ser modificados por otros que cumplieran con la normativa de la empresa.

La implementación del modelo MEESAT se encuentra limitada única y exclusivamente a la problemática de los arroyos que existe en barranquilla, debido que este fenómeno solo se presenta en esta ciudad, sin embargo, MEESAT es un modelo flexible, el cual sirve de guía y de aporte para el diseño de futuros modelos económicos energéticos.

#### **4.6 Recomendaciones**

- Para obtener una remuneración económica, se debe realizar un estudio de mercado que permita identificar y valorar fuentes de ingreso externas al proyecto.
- Se recomienda trasladar a MEESAT hacia una plataforma virtual que permita llevar un control sistemático de cada punto de conexión, esta recomendación puede ser considerada como un proyecto de sistema, encargado de realizar la plataforma virtual que simule los componentes del sistema junto con los parámetros de estudio evaluados por MEESAT.
- Se recomienda la implementación de mayores puntos de monitoreo a lo largo de un arroyo o afluente, para tener un dato más específico del comportamiento del arroyo.
- Se debe considerar la no dependencia total de la red convencional de energía, debido a que se pueden presentar averías en el banco de baterías, o el panel solar encargado del suministro energético, por lo tanto al momento de presentarse estas fallas, la red convencional de energía serviría como alternativa del suministro energético para la solución de la emergencia presente.

- MEESAT sirve como punto de partida para un proyecto de generación distribuida el cual permita generar energía eléctrica a pequeña escala, de una fuente de energía no convencional como el panel solar instalado en los puntos de conexión de monitoreo de los arroyos, interactuando con mayores recursos tecnológicos, y las redes de energía eléctrica que permiten la conexión entre el punto de generación y el punto de consumo.

## CAPITULO V. CONCLUSIONES

El presente proyecto tuvo como propósito desarrollar un modelo económico energético para determinar el consumo y la factibilidad del suministro de energía implementado en el proyecto macro de la universidad de la costa (CUC), que junto con el apoyo de Colciencias se logró aplicar y llevar a cabo un proyecto piloto que logra monitorear el nivel de peligrosidad de los arroyos de barranquilla.

Para cumplir con los objetivos trazados, se requirió de un amplio estudio de los modelos económicos existentes, así como un análisis que lograra determinar cuáles eran las características principales de cada modelo que existía en el mundo y determinar entre cada una, aquella que contribuyera a cumplir los requerimientos del modelo planteado.

Como resultado del estudio realizado, se formula la creación de un modelo híbrido que logre reunir los parámetros más importantes, seleccionados de acuerdo el criterio y los requerimientos necesarios. Entre los modelos consultados se encuentran: LEAP, MARKAL, ECONOMETRICOS, BOTTON UP, y MODELOS según el PROPÓSITO. A pesar de la consulta de estos modelos, y teniendo como referencia que la problemática ambiental generada en la ciudad de Barranquilla a partir de los arroyos, es única en el mundo, se creó la categoría de OTROS, los cuales integran las principales necesidades de consumo del SAT.

Integrando cada característica consultada y cada elemento aportado por los modelos seleccionados, nace MEESAT, el cual es el modelo de estudio que determina el consumo energético del proyecto piloto SAT para la detección de los arroyos de barranquilla.

El cuerpo de MEESAT se dividió en 4 etapas, la primera de ellas titulada **“Factibilidad del suministro de energía”**, el cual describe la importancia y los factores a tener en cuenta según el criterio de elección para el suministro de energía, ya sea mediante una fuente convencional de energía o una fuente renovable. La segunda etapa de **“Análisis”**, como su nombre lo indica, tiene con el análisis requerido para establecer la confiabilidad y seguridad que debe brindar el SAT. La tercera etapa lleva por nombre **“Caracterización energética”** cuyo

objetivo principal es brindar el estudio de consumo energético del SAT, por esta razón dentro de él, se incluye un estudio de caracterización de cada elemento que compone el proyecto. La cuarta etapa de **“Diseño del modelo”**, en el cual su objetivo es estructurar el modelo mediante un diagrama de flujo y un diagrama de procesos, el cual contribuye en la identificación de los procesos característicos del SAT.

MEESAT logro obtener como resultados la determinación del consumo energético de cada elemento del sistema, así como su consumo total. Este modelo obtuvo como valores agregados la implementación del análisis de confiabilidad y seguridad los cuales arrojaron unos formatos aplicativos para el control, monitores y mantenimiento del sistema.

Otro de los resultados aportados por MEESAT fue lograr establecer y determinar la factibilidad del suministro de energía, llegando a la conclusión de optar por la energía renovable, en este caso, la energía fotovoltaica es la opción más viable en todos los ámbitos debido a los beneficios como sistema aislado que este representa, la autonomía que dispone para el funcionamiento óptimo de los dispositivos sensoriales para el fin del proyecto.

Este proyecto se convierte en el punto de partida de otros estudios que pueden ser considerados como proyectos de grados. Entre los cuales se recomienda la realización de un estudio de mercado que logre identificar aspectos externos para la obtención de ingresos y de esta manera lograr una mayor dependencia y autonomía del SAT. De igual manera se recomienda realizar una plataforma virtual en donde MEESAT pueda ser trasladado y su aplicación pueda ser simulada para la obtención de datos de consumo en tiempo real, y de esta manera llevar de una manera controlada el seguimiento de los indicadores de consumo.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] CECODES. (04 de Abril de 2015). Obtenido de Consejo Empresarial Colombiano Para el Desarrollo Sostenible:  
<http://www.cecodes.org.co/index.php/seccion-boletin/1676.html>
- [2] *Dinero*. (s.f.). Recuperado el 04 de Abril de 2015, de  
<http://www.dinero.com/empresas/articulo/colombia-ejemplo-modelo-energetico-sostenible/166334>
- [3] *Asociacion de Ciencias Ambientales ACA*. (s.f.). Obtenido de  
<http://www.cienciasambientales.org.es/index.php/cambio-climatico-y-sector-energetico/por-un-modelo-energetico-sostenible.html>
- [4] BAZÁN NAVARRETE, G., & ORTIZ MUÑIZ, G. (Marzo - Abril de 2010). Modelos de planeación energética. (S. d. Mundi Comunicaciones, Ed.) *Energía a debate*.
- [5] ROMÁN, C. M. (s.f.). *SEGURIDAD DE ABASTECIMIENTO ENERGETICO: MAPA GLOBAL DE RESERVAS Y ESCENARIOS PEAK-OIL*. Escola Universitària d'Enginyeria Tècnica Industrial de Terrasa.
- [6] Alvarez, C. A. (s.f.). *Análisis local y mundial de tendencias en generación distribuida*. Obtenido de  
[http://www.cidet.org.co/sites/default/files/documentos/uiet/analisis\\_local\\_y\\_mundial\\_de\\_tendencias\\_en\\_generacion\\_distribuida.pdf](http://www.cidet.org.co/sites/default/files/documentos/uiet/analisis_local_y_mundial_de_tendencias_en_generacion_distribuida.pdf)
- [7] Pacheco, H. F. (s.f.). *Adecuación de la generación distribuida en los sistemas de energía eléctrica actual*. EnerDossier.
- [8] (s.f.). *Conozca el programa de MEDICION NETA*. Folleto, Autoridad de Energia Electrica de Puerto Rico.
- [9] B, S. B. (Diciembre de 2008). ANÁLISIS DEL INSTRUMENTO REGULATORIO “MEDICIÓN NETA” (NET METERING) Y SU POTENCIAL APLICACIÓN AL CASO COLOMBIANO. *Revista Energética*(40).
- [10] UNESCO, M. D. (s.f.). *CONCEPTOS Y HERRAMIENTAS SOBRE SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA Y GESTIÓN DEL RIESGO PARA LA COMUNIDAD EDUCATIVA*.
- [11] Ambiente, U. d. (s.f.). *MANUAL PARA EL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DE INUNDACIONES EN CUENCAS MENORES*.
- [12] *confiabilidad.net*. (s.f.). Obtenido de <http://www.1reliability.com/>

- [13] *Tiempo Medio Entre Fallas y Tiempo Medio Para Reparar*. (s.f.). Obtenido de <http://world-class-manufacturing.com/es/KPI/mtbf.html>
- [14] *¿Qué es el MTBF y el MTTR?* (s.f.). Obtenido de edInn: <http://edinn.com/es/mtbf--mttr.html>
- [15] Rakov, V. A., & Uman, M. A. (s.f.). *Lightning: Physics and Effects*. Cambridge.
- [16] Jorge Feijoo Aguilar, I. C. (s.f.). PROYECTO DE IMPLEMENTACION DE PANELES SOLARES EN HACIENDAS ALEJADAS DE LA FUENTE DE ENERGIA CONVENCIONAL. *Revista Tecnologica ESPOL*.
- [17] Profesionales, G. d. (s.f.). *ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA*. Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicacion.
- [18] Palacio, L. H. (18 de 06 de 2010). *INDISA S.A.* Obtenido de <http://www.indisa.com/indisaonline/anteriores/84.htm>
- [19] *Alcaldía de Barranquilla*. (s.f.). Obtenido de <http://www.barranquilla.gov.co/politica-y-planes-institucionales/politicas-y-planes>
- [20] Suárez, E. I. (s.f.). *Arroyos de Barranquilla*. Obtenido de <http://www.arroyosdebarranquilla.co/pedagogia/antecedentes-historicos>
- [21] *Modelos de planificación y estrategia energética*. (s.f.). Obtenido de <http://eltroldesdesucaverna.com/archivos/m193120312.pdf>
- [22] (s.f.). *Herramientas Multicriterio para la selección de proyectos con alto impacto en el Desarrollo Humano*. Universidad Politecnica de Madrid.
- [23] Madruga, R. P. (s.f.). *Tendencias energéticas mundiales: implicaciones sociales y ambientales*. Obtenido de <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar20/HTML/articulo01.htm>
- [24] *COMMEND*. (s.f.). Obtenido de <http://www.energycommunity.org/default.asp?action=47>
- [25] CARDONA, C. J. (Noviembre de 1996). *UN MODELO NACIONAL DESAGREGADO PARA LA FORMULACION DE POLITICAS PARA EL USO RACIONAL DE ENERGIA*. Medellin.
- [26] Ortega, J. I. (2013). *CARACTERIZACION ESPACIO TEMPORAL DE LAS DESCARGAS ELECTRICAS ATMOSFERICAS A TIERRA EN LA REGION CARIBE COLOMBIANA*.

- [27] *Grupo Reinval.* (s.f.). Obtenido de Soluciones Oportunas a problemas Inoportunos: <http://www.gruporeinvalca.com/mantenimiento/69-objetivos-de-un-mantenimiento>
- [28] *Indicadores de Mantenimiento.* (s.f.). Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/828/3/CAPITULO%203.pdf>
- [29] *VEGA.* (s.f.). Obtenido de [http://www.vega.com/es/Innovaci%C3%B3n\\_VEGAPULS\\_Tecnolog%C3%A1Da.htm](http://www.vega.com/es/Innovaci%C3%B3n_VEGAPULS_Tecnolog%C3%A1Da.htm)
- [30] *CAE Monitoring you world.* (s.f.). Obtenido de <http://www.cae.it/es/soluzioni/pluviometro-PMB25-PMB25R.php>
- [31] *Misrespuestas.com.* (s.f.). Obtenido de <http://www.misrespuestas.com/que-es-un-servidor-web.html>
- [32] *Electricaribe S.A.* (s.f.). Obtenido de Normativa de Provision del servicio
- [33] *ALEGSA.com.ar.* (s.f.). Obtenido de <http://www.alegsa.com.ar/Dic/bateria.php>
- [34] *Universidad Distrital Francisco José de Caldas .* (s.f.). Obtenido de PIGA Plan Institucional de Gestion Ambiental: <http://comunidad.udistrital.edu.co/piga/caracterizacion-energetica/>
- [35] *ASOCIACION ESPAÑOLA PARA LA CALIDAD AEC.* (03 de Abril de 2005). Obtenido de [http://www.aec.es/c/document\\_library/get\\_file?p\\_l\\_id=33948&folderId=221070&name=DLFE-6610.pdf](http://www.aec.es/c/document_library/get_file?p_l_id=33948&folderId=221070&name=DLFE-6610.pdf)
- [36] *Wikipedia.* (s.f.). Obtenido de <http://es.wikipedia.org/wiki/Cortocircuito>
- [37] *Definicion.de.* (s.f.). Obtenido de <http://definicion.de/demanda/>
- [38] *Definición.de.* (s.f.). Obtenido de <http://definicion.de/energia-renovable/>
- [39] *Definicion ABC.* (s.f.). Obtenido de <http://www.definicionabc.com/economia/macroeconomia.php>
- [40] *Definición ABC.* (s.f.). Obtenido de <http://www.definicionabc.com/general/mantenimiento.php>
- [41] *Wikipedia.* (s.f.). Obtenido de <http://es.wikipedia.org/wiki/Microeconomía>
- [42] *Asociación española para la calidad AEC.* (s.f.). Obtenido de <http://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/confiabilidad>
- [43] *Definicion.de.* (s.f.). Obtenido de <http://definicion.de/oferta/>

- [44] CREG, C. d. (s.f.). Obtenido de  
<http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/Indice01/Resolución-1998-CREG070-98>
- [45] *Potencia Eléctrica*. (s.f.). Obtenido de  
<http://potenciaelectrica.wikispaces.com/4+Potencia+Activa+-+Reactiva+-+Aparente>
- [46] *Potencia Eléctrica*. (s.f.). Obtenido de  
<http://potenciaelectrica.wikispaces.com/4+Potencia+Activa+-+Reactiva+-+Aparente>
- [47] *Wikipedia*. (s.f.). Obtenido de [http://es.wikipedia.org/wiki/Red\\_eléctrica](http://es.wikipedia.org/wiki/Red_eléctrica)
- [48] Ocharan, J. (2007). *Sistemas de Alerta Temprana. Fotografía actual y retos*. Cuadernos internacionales de tecnología para el desarrollo humano .
- [49] *Definición.de*. (s.f.). Obtenido de <http://definicion.de/sostenible/>
- [50] *Significados*. (s.f.). Obtenido de <http://www.significados.com/sistema/>

## ANEXOS

Anexo 1. Carta de entrega y autorización de los autores para la consulta, la reproducción parcial o total, y publicación electrónica del texto completo de tesis y trabajos de grado.

Barranquilla, 28 de Mayo de 2015

Yo JOSEPH STEVE HERNANDEZ MIRANDA, identificado con C.C. No. 1.140.869.225 de Barranquilla, actuando en nombre propio y como autor de la tesis y/o trabajo de grado titulado DISEÑO DEL MODELO ECONOMICO ENERGETICO PARA UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA (MEESAT) PARA LOS ARROYOS DE BARRANQUILLA, presentado y aprobado en el año 2015 como requisito para optar al título de Ingeniero Eléctricista; hago entrega del ejemplar respectivo y de sus anexos de ser el caso, en formato digital o electrónico (DVD) y autorizo a la UNIVERSIDAD DE LA COSTA, CUC, para que en los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia, utilice y use en todas sus formas, los derechos patrimoniales de reproducción, comunicación pública, transformación y distribución (alquiler, préstamo público e importación) que me corresponden como creador de la obra objeto del presente documento.

Y autorizo a la Unidad de información, para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad de la Costa, CUC, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en la página Web de la Facultad, de la Unidad de información, en el repositorio institucional y en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la institución y permita la consulta, la reproducción, a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato DVD o digital desde Internet, Intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

EL AUTOR – ESTUDIANTES, manifiesta que la obra objeto de la presenta autorización es original y la realizó sin violar o usurpar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es de su exclusiva autoría y detenta la titularidad ante la misma. PARÁGRAFO: En caso de presentarse cualquier reclamación o acción por parte de un tercero en cuanto a los derechos de autor sobre la obra en cuestión, EL ESTUDIANTE – AUTOR, asumirá toda la responsabilidad, y saldrá en defensa de los derechos aquí autorizados; para todos los efectos, la universidad actúa como un tercero de buena fe.

Para constancia se firma el presente documento en dos (02) ejemplares del mismo valor y tenor, en Barranquilla D.E.I.P, a los 28 días del mes de Mayo de Dos Mil Quince 2015.

EL AUTOR – ESTUDIANTE. \_\_\_\_\_

FIRMA



## DISEÑO DEL MODELO ECONOMICO ENERGETICO PARA UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA (MEESAT) PARA LOS ARROYOS DE BARRANQUILLA.

---

### Anexo 2. Carta de entrega y autorización de los autores para la consulta, la reproducción parcial o total, y publicación electrónica del texto completo de tesis y trabajos de grado.

Barranquilla, 28 de Mayo de 2015

Yo LEYTER JOSE PEREZ FLOREZ, identificado con C.C. No. 1.140.843.691 de Barranquilla, actuando en nombre propio y como autor de la tesis y/o trabajo de grado titulado DISEÑO DEL MODELO ECONOMICO ENERGETICO PARA UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA (MEESAT) PARA LOS ARROYOS DE BARRANQUILLA, presentado y aprobado en el año 2015 como requisito para optar al título de Ingeniero Eléctricista; hago entrega del ejemplar respectivo y de sus anexos de ser el caso, en formato digital o electrónico (DVD) y autorizo a la UNIVERSIDAD DE LA COSTA, CUC, para que en los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia, utilice y use en todas sus formas, los derechos patrimoniales de reproducción, comunicación pública, transformación y distribución (alquiler, préstamo público e importación) que me corresponden como creador de la obra objeto del presente documento.

Y autorizo a la Unidad de información, para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad de la Costa, CUC, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en la página Web de la Facultad, de la Unidad de información, en el repositorio institucional y en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la institución y permita la consulta, la reproducción, a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato DVD o digital desde Internet, Intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

EL AUTOR – ESTUDIANTES, manifiesta que la obra objeto de la presenta autorización es original y la realizó sin violar o usurpar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es de su exclusiva autoría y detenta la titularidad ante la misma. PARÁGRAFO: En caso de presentarse cualquier reclamación o acción por parte de un tercero en cuanto a los derechos de autor sobre la obra en cuestión, EL ESTUDIANTE – AUTOR, asumirá toda la responsabilidad, y saldrá en defensa de los derechos aquí autorizados; para todos los efectos, la universidad actúa como un tercero de buena fe.

Para constancia se firma el presente documento en dos (02) ejemplares del mismo valor y tenor, en Barranquilla D.E.I.P, a los 28 días del mes de Mayo de Dos Mil Quince 2015.

EL AUTOR – ESTUDIANTE. \_\_\_\_\_

FIRMA

**DISEÑO DEL MODELO ECONOMICO ENERGETICO PARA UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA (MEESAT) PARA LOS ARROYOS DE BARRANQUILLA.**

---

**FORMULARIO DE LA DESCRIPCIÓN DE LA TESIS O DEL TRABAJO DE GRADO**

TÍTULO COMPLETO DE LA TESIS O TRABAJO DE GRADO:

Diseño del modelo económico energético para un sistema de alerta temprana (meesat) para los arroyos de barranquilla.

SUBTÍTULO, SI LO TIENE:

---

---

**AUTORES**

Apellidos Completos	Nombres Completos
Hernández Miranda	Joseph Steve
Pérez Flórez	Leyter José

**DIRECTOR**

Apellidos Completos	Nombres Completos
Silva ortega	Jorge Iván

**AUTORES**

Apellidos Completos	Nombres Completos
Hernández Miranda	Joseph Steve
Pérez Flórez	Leyter José

**JURADOS**

Apellidos Completos	Nombres Completos
Zamora	Ronald
Quintero duran	Michell

**CODIRECTOR**

Apellidos Completos	Nombres Completos
Hernández herrera	Hernán

TRABAJO PARA OPTAR AL TITULO DE: Ingeniero Electricista.

**FACULTAD:** Ingeniería.

**PROGRAMA:** Pregrado \_X\_ Especialización \_\_

**NORMBRE DEL PROGRAMA:** Ingeniería Eléctrica.

**DISEÑO DEL MODELO ECONOMICO ENERGETICO PARA UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA (MEESAT) PARA LOS ARROYOS DE BARRANQUILLA.**

---

**CIUDAD:** Barranquilla

**AÑO DE PRESENTACION DE LA TESIS:** 2015

**NUMERO DE PAGINAS:** 115

**TIPO DE ILUSTRACIONES:**

Ilustraciones ☒ Planos ☐

Laminas ☐ Mapas ☐

Retratos ☐ Fotografías ☐

Tablas, gráficos y diagramas ☒

**MATERIAL ANEXO** (Video, audio, multimedia o producción electrónica):

Duración del audiovisual: \_\_\_\_\_ minutos.

NÚMERO DE CASSETES DE VIDEO: \_\_\_\_\_ Formato: VHS \_\_\_\_\_ Beta Max \_\_\_\_\_

¾ \_\_\_\_\_ Beta Cam \_\_\_\_\_ Mini DVD \_\_\_\_\_ Cam \_\_\_\_\_ DVC Pro \_\_\_\_\_ Video 8 \_\_\_\_\_

Hi 8 \_\_\_\_\_ Otro: ¿Cuál? \_\_\_\_\_

Sistema: Americano NTSC \_\_\_\_\_ Europeo PAL \_\_\_\_\_ SECAM \_\_\_\_\_

**NUMERO DE CASSETES DE AUDIO:** \_\_\_\_\_

**NUMERO DE ARCHIVOS DENTRO DEL DVD** (En caso de incluirse un DVD diferente al trabajo de grado o tesis):  
\_\_\_\_\_

**PREMIO O DISTINCION** (En caso de ser LAUREADAS o tener una mención especial):  
\_\_\_\_\_

**DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLES:** Son los términos que definen los temas que identifican el contenido. (En caso de duda para designar estos descriptores, se recomienda consultar con la Unidad de Procesos Técnicos de la Unidad de información en el correo biblioteca@cuc.edu.co, donde se les orientara).

ESPAÑOL

INGLÉS

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_